



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY**

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**VYHODNOCENÍ ÚČINNOSTI EROZNÍCH  
A ODTOKOVÝCH POMĚRŮ VYBRANÉHO POVODÍ**

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF EROSION AND RUNOFF CONDITIONS OF A SELECTED  
CATCHMENT AREAS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Filip Mokrejš**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**prof. Ing. MIROSLAV DUMBROVSKÝ, CSc.**

**BRNO 2021**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Filip Mokrejš
Název	Vyhodnocení účinnosti erozních a odtokových poměrů vybraného povodí
Vedoucí práce	prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

---

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT



## PODKLADY A LITERATURA

1. Holý M, a kol – Eroze a životní prostředí, ČVUT Praha 1998
2. Janeček, M. a kol. Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika. Praha: ČZU 2012, ISBN 978-80-87415-42-9
3. Toy, T.J., Foster, G.R. a Renard, K.G. Soil erosion: processes, prediction, measurement and control. New York: Wiley, 2002, 352 p. ISBN 0-471-38369-4.
4. Hrádek F, - Implementace hydrologického modelu DeSQ, ČZU Praha 1997

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

S využitím DMT a příslušných vrstev GIS podkladů v daném povodí proveďte vyhodnocení stávajícího stavu uspořádání krajiny a navrhnete variantní systém ochranných opatření pro optimalizaci erozních a odtokových poměrů v povodí. Vyhodnocení účinnosti navržených opatření z hlediska erozních a odtokových poměrů zpracujte pro stávající stav povodí, pro různé varianty navržených opatření a pro různé stavy druhu pozemků v povodí. Na základě provedených výpočtů a analýz v daném povodí proveďte vyhodnocení jednotlivých modelových variant opatření.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Předmětem bakalářské práce je vyhodnotit erozní a odtokové poměry v zájmovém území a následně navrhnout variantní opatření k zmírnění dopadů vodní eroze. Vyhodnocení erozních poměrů bylo provedeno v programu ArcGIS s použitím hydrologicky korektního DMT. Odtokové poměry byly vyhodnoceny za pomoci hydrologického modelu DesQ. Zmíněna je i varianta klimatické změny a její dopady na erozi půdy a zemědělství. Závěrem byla zhodnocena účinnost jednotlivých protierozních opatření.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Eroze půdy, odtokové poměry, DesQ, ArcGIS, protierozní opatření, USLE, změna klimatu

## **ABSTRACT**

The subject of the bachelor's thesis was to evaluate the erosion and runoff conditions in the area of interest and then to design alternative measures to mitigate the impacts of water erosion. Evaluation of erosion conditions was conducted in ArcGIS using hydrologically correct DMT. The runoff conditions were evaluated using the hydrological model DesQ. A variant of climate change and impacts on soil erosion and agriculture is also presented. In conclusion, the effectiveness of individual soil erosion control measures was evaluated.

## **KEYWORDS**

Soil erosion, runoff conditions, DesQ, ArcGIS, erosion control measures, USLE, climate change

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Filip Mokrejš *Vyhodnocení účinnosti erozních a odtokových poměrů vybraného povodí.* Brno, 2021. 71 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Vyhodnocení účinnosti erozních a odtokových poměrů vybraného povodí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2021

---

Filip Mokrejš  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Vyhodnocení účinnosti erozních a odtokových poměrů vybraného povodí* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2021

---

Filip Mokrejš  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval prof. Ing. Miroslavu Dumbrovskému, CSc. za odborné vedení, ochotu, trpělivost, cenné rady a čas který věnoval konzultacím této bakalářské práce.

# Obsah

1.	ÚVOD .....	10
2.	POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	11
2.1	Charakteristika zájmové lokality .....	11
2.2	Klimatické poměry .....	12
2.2.1	Klasifikace podnebí .....	12
2.2.2	Srážkové a teplotní poměry .....	13
2.3	Hydrologické poměry .....	14
2.4	Pedologické poměry .....	16
2.5	Hydropedologické poměry .....	18
2.6	Geomorfologické poměry.....	20
2.7	Sklonové poměry.....	21
2.8	Geologické poměry .....	22
2.9	Plošná lokalizace druhů pozemků .....	22
3.	POPIS POUŽITÝCH PROGRAMŮ A METOD .....	24
3.1	ArcGIS.....	24
3.1.1	Digitální model terénu (DMT).....	24
3.1.2	Směry a akumulace odtoku.....	24
3.2	Ztráta půdy vodní erozí – rovnice USLE .....	24
3.2.1	Faktor erozní účinnosti deště (R faktor) .....	25
3.2.2	Faktor erodovatelnosti půdy (K faktor) .....	25
3.2.3	Faktory délky a sklonu svahu (L, S faktor) .....	25
3.2.4	Faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu (C faktor).....	26
3.2.5	Faktor účinnosti protierozních opatření (P faktor) .....	26
3.2.6	Výpočet dlouhodobé ztráty půdy – G .....	26
3.3	USLE2D .....	26
3.4	DesQ – MAXQ.....	27
3.5	Metoda čísel odtokových křivek – CN.....	28
3.5.1	Stanovení čísel odtokových křivek – CN .....	28
3.6	Identifikace kritických bodů (KB) a kritických profilů (KP).....	28
4.	DOSAŽENÉ VÝSLEDKY .....	30
4.1	Rozbor erozních poměrů v zájmovém území .....	30
4.1.1	Stávající stav .....	30

4.1.2	Návrh a posouzení protierozních opatření .....	33
4.1.3	Dopad změny klimatu na erozní poměry – ZK.....	47
4.1.4	Vyhodnocení erozních poměrů .....	50
4.2	Rozbor odtokových poměrů a posouzení navržených opatření.....	51
4.2.1	KP1 .....	52
4.2.2	KP2 .....	53
4.2.3	KP3 .....	54
4.2.4	KP4 .....	55
4.2.5	KP5 .....	56
4.2.6	KP6 .....	57
4.2.7	KP7 .....	58
4.2.8	KP8 .....	59
4.2.9	KP9 .....	60
4.2.10	KP10.....	61
4.2.11	KP11 .....	62
5.	ZÁVĚR .....	63
	Seznam zdrojů .....	64
	Seznam tabulek.....	67
	Seznam obrázků.....	69
	Seznam grafů .....	70
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	71

# 1. ÚVOD

Půda je jedním z nejcennějších přírodních bohatství, které bylo lidstvu dáno. Hlavní využití půda nachází v zemědělství, na němž byly závislé již prastaré civilizace a těžko si bez něj představit život v současnosti i budoucnosti. Schopnost půdy plnit své produkční a životodárné funkce je ovšem ohrožena celou řadou procesů, které z velké míry ovlivňuje sám člověk nevhodným hospodařením. Na území ČR je půda nejvíce ohrožena vodní erozí, kterou je zasaženo více jak 50 % výměry zemědělské půdy. Ke zvýšení erozní ohroženosti v posledních letech došlo zejména díky intenzifikaci zemědělství a s tím spjatým pěstováním širokořádkových plodin na sklonitých pozemcích a nerespektování zásad protierozní ochrany.

Vodní erozi lze označit za proces, při kterém dochází k rozrušování půdního povrchu a odnosu nejcennější složky půdy bohaté na živiny, ornice, do jiných míst. Negativní účinky eroze lze pozorovat zejména po silných přívalových srážkách nebo jarním tání sněhu. Při přívalových srážkách je vyčerpána přirozená infiltrační schopnost půdy a nastává vzniku povrchového odtoku, který s sebou odnáší jemné částice půdy. Vlivem tohoto procesu dochází ke škodám jak na ploše samotného zemědělského pozemku, tak i mimo něj, kde negativně ovlivňuje vodní toky a vodní nádrže, které jsou zanášeny splaveninami. Ke škodám dochází také v místech, kde povrchový odtok vniká do zastavěného území a způsobuje škody na majetku obyvatel. Nápravy těchto škod, vytěžení splavenin a případný návrat odnesené půdy či její likvidace vyžadují nezanedbatelné finanční a časové náklady.

Půda se dá považovat za neobnovitelný zdroj, a je proto nutné ji chránit nejen pro současnou, ale zejména budoucí generaci. Je tedy nutné zvolit aktivní přístup a zmírnit tyto nepříznivé účinky vhodnou úpravou krajiny a eliminovat tak možné škody.

Na popsané nepříznivé důsledky reaguje téma této bakalářské práce, která vyhodnocuje erozně odtokové poměry v zájmovém území a navrhuje variantní ochranná opatření ke zmírnění projevu vodní eroze a soustředěného povrchového odtoku a vyhodnocuje jejich účinnost.



## 2. POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

### 2.1 Charakteristika zájmové lokality

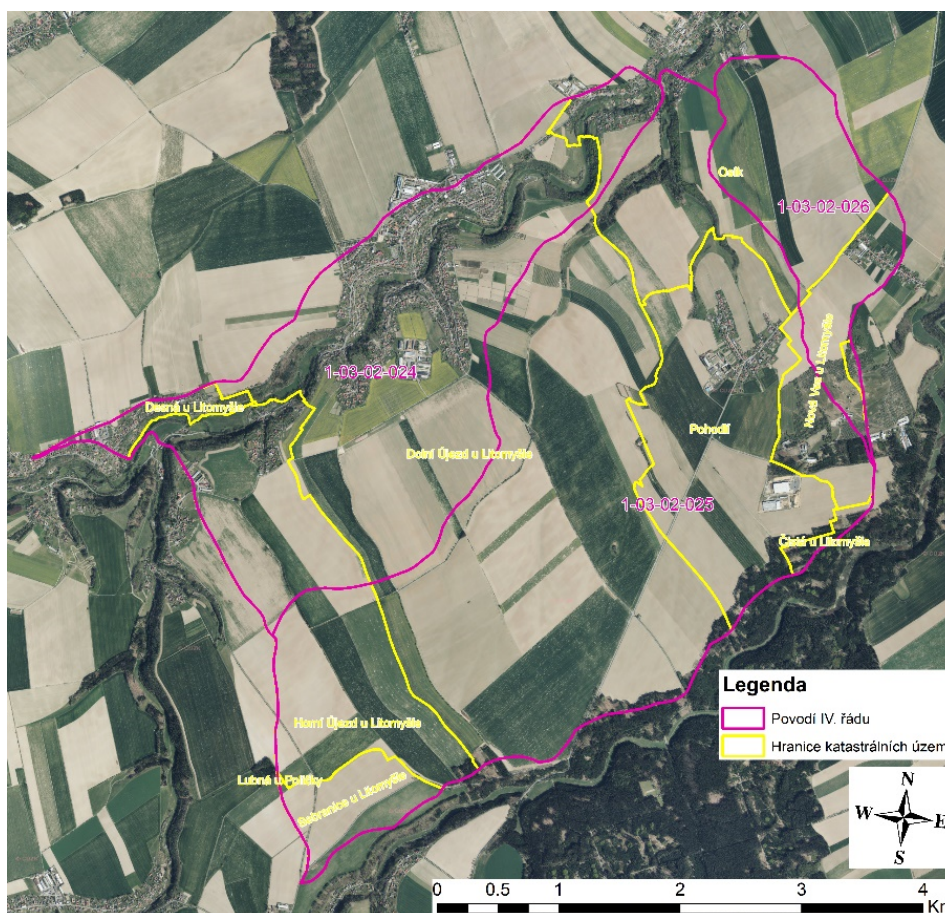
Řešené území se nachází v Pardubickém kraji, konkrétněji v okrese Svitavy mezi městy Litomyšl (severovýchodní směr) a Polička (jižní směr). Celková plocha zájmového území je 24,68 km<sup>2</sup>.

Zájmová lokalita se rozprostírá na devíti katastrálních územích. Jsou to konkrétněji: Desná u Litomyšle, Horní Újezd u Litomyšle, Lubná u Poličky, Sebranice u Litomyšle, Dolní Újezd u Litomyšle, Osík, Pohodlí, Nová Ves u Litomyšle, Čistá u Poličky. Největší výměru zaujímá katastrální území Dolní Újezd u Litomyšle.

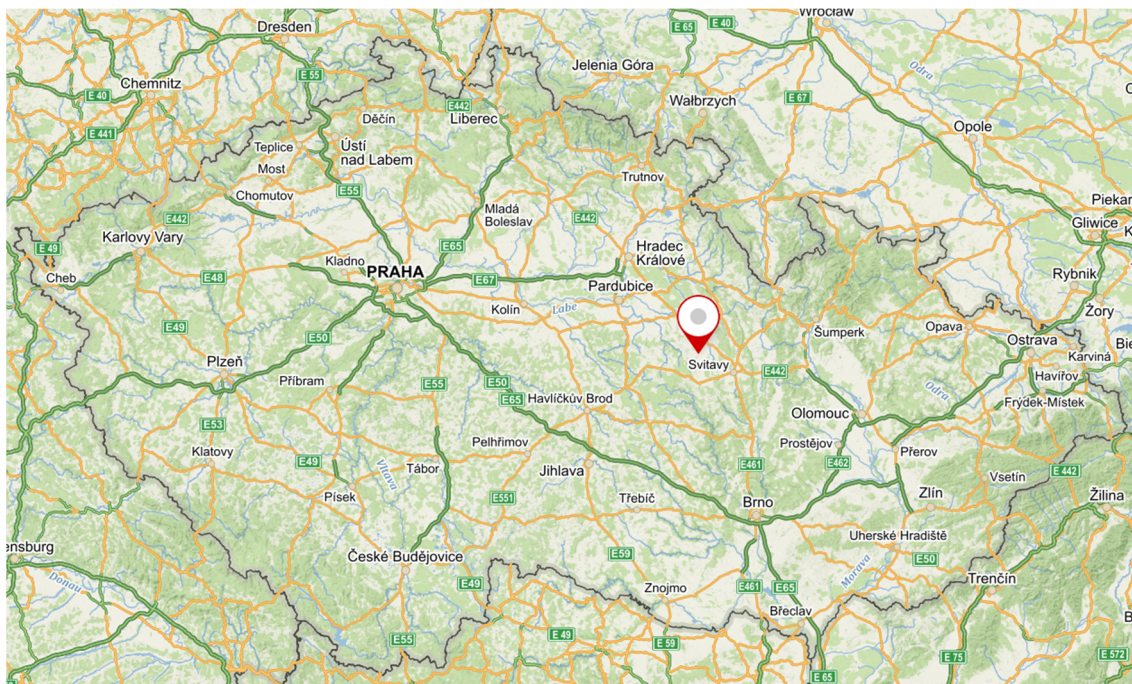
Dopravní síť tvoří zejména dvě silnice druhé třídy. Je to silnice II/359 z Litomyšle do Zderaze, která protíná zájmové území v jeho severozápadní části a prochází obcemi Osík, Dolní Újezd a Desná. Dále silnice II/360 z Šedivce do Jaroměřice nad Rokytnou, jež protíná území v jihovýchodní části a vede obcemi Pohodlí a Nová Ves u Litomyšle [1].

Lokalitou protéká vodní tok Desná, který se dále vlévá do Loučné jako jeho levostranný přítok.

Jak je patrné z leteckého snímku níže, většina území je využívána k zemědělskému obhospodařování. Na těchto plochách hospodaří v drtivé většině Zemědělské družstvo Dolní Újezd, výjimkou nejsou ani soukromí zemědělci.



Obrázek 1. Mapa katastrálních území v zájmové lokalitě

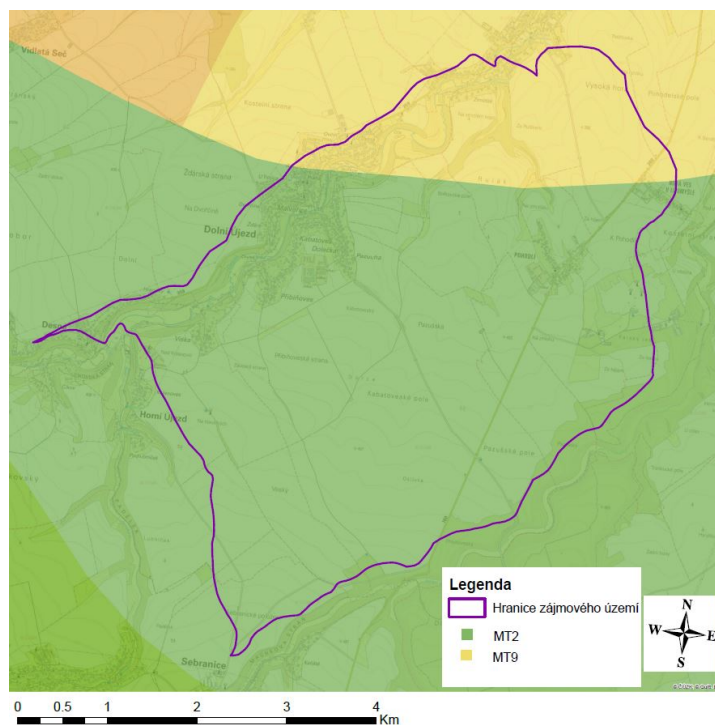


Obrázek 2. Základní mapa ČR s vyznačením zájmového území [2]

## 2.2 Klimatické poměry

### 2.2.1 Klasifikace podnebí

Klimatickou oblast lze určit pomocí Quittovi klasifikace klimatu, která rozděluje území ČR na 23 jednotek ve třech oblastech na základě 14 klimatických charakteristik, jež jsou uvedeny v tabulce 1. Převážná část zájmového území se nachází v oblasti MT2 a zbytek (severní část území) v oblasti MT9 [3].



Obrázek 3. Klimatické oblasti v zájmovém území [4]



Tabulka 1. Klasifikace klimatických oblastí dle Quitta [3]

Klimatické oblasti	Mírně teplá	
	MT9	MT2
Počet letních dní	40–50	20–30
Počet dní s průměr. teplotou 10 °C a více	140–160	140–160
Počet dní s mrazem	110–130	110–130
Počet ledových dní	30–40	40–50
Průměrná lednová teplota	(-3) – (-4)	(-3) – (-4)
Průměrná červencová teplota	17–18	16–17
Průměrná dubnová teplota	6–7	6–7
Průměrná říjnová teplota	7–8	6–7
Průměr. počet dní se srážkami 1 mm a více	100–120	120–130
Suma srážek ve vegetačním období	400–450	450–500
Suma srážek v zimním období	250–300	250–300
Počet dní se sněhovou pokrývkou	60–80	80–100
Počet zatažených dní	120–150	150–160
Počet jasných dní	40–50	40–50

Další možností, jak klasifikovat místní klimatické podmínky, je pomocí kódu BPEJ, konkrétněji číslem klimatického regionu. Tento údaj najdeme na prvním místě tohoto pětímístného kódu a vyčleňuje území se shodnými klimatickými podmínkami pro růst a vývoj zemědělských plodin. Pro ČR je klasifikováno celkem deset klimatických regionů, které jsou rozděleny dle klimatických charakteristik [5].

V zájmovém území se vyskytuje pouze jeden klimatický region a to KR5.

Tabulka 2. Charakteristika klimatického regionu [5]

Kód KR	Symbol KR	Charakteristika regionů	Suma teplot nad 10 °C (°C)	Průměrná roční teplota (°C)	Průměrný úhrn srážek (mm)	Pravděpodobnost suchých vegetačních období v %	Vláhová jistota ve vegetačním období
5	MT2	Mírně teplý, mírně vlhký	2200–2500	7–8	550–650 (700)	15–30	4–10

### 2.2.2 Srážkové a teplotní poměry

Data pro průměrný úhrn srážek a průměrnou teplotu vzduchu byla použita z nejbližší meteorologické stanice Gajer, která se nachází v obci Janov v nadmořské výšce 515 m.n.m. Provozovatelem této stanice je ČHMÚ a její identifikační číslo je H3GAJE01. Jak je patrné z tabulky 3 nejteplejší jsou letní měsíce, naopak nejstudenějším měsícem je leden. Největší srážkový úhrn se vyskytuje v letních měsících, po zbytek roku jsou úhrny velmi podobné [6].

Tabulka 3. Průměrné roční teploty [6]

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Teplota (°C)	-2.5	-1.6	2.4	8.3	12.4	16.1	17.9	17.6	12.8	7.7	3.8	-0.8

Tabulka 4. Průměrné roční úhrny srážek [6]

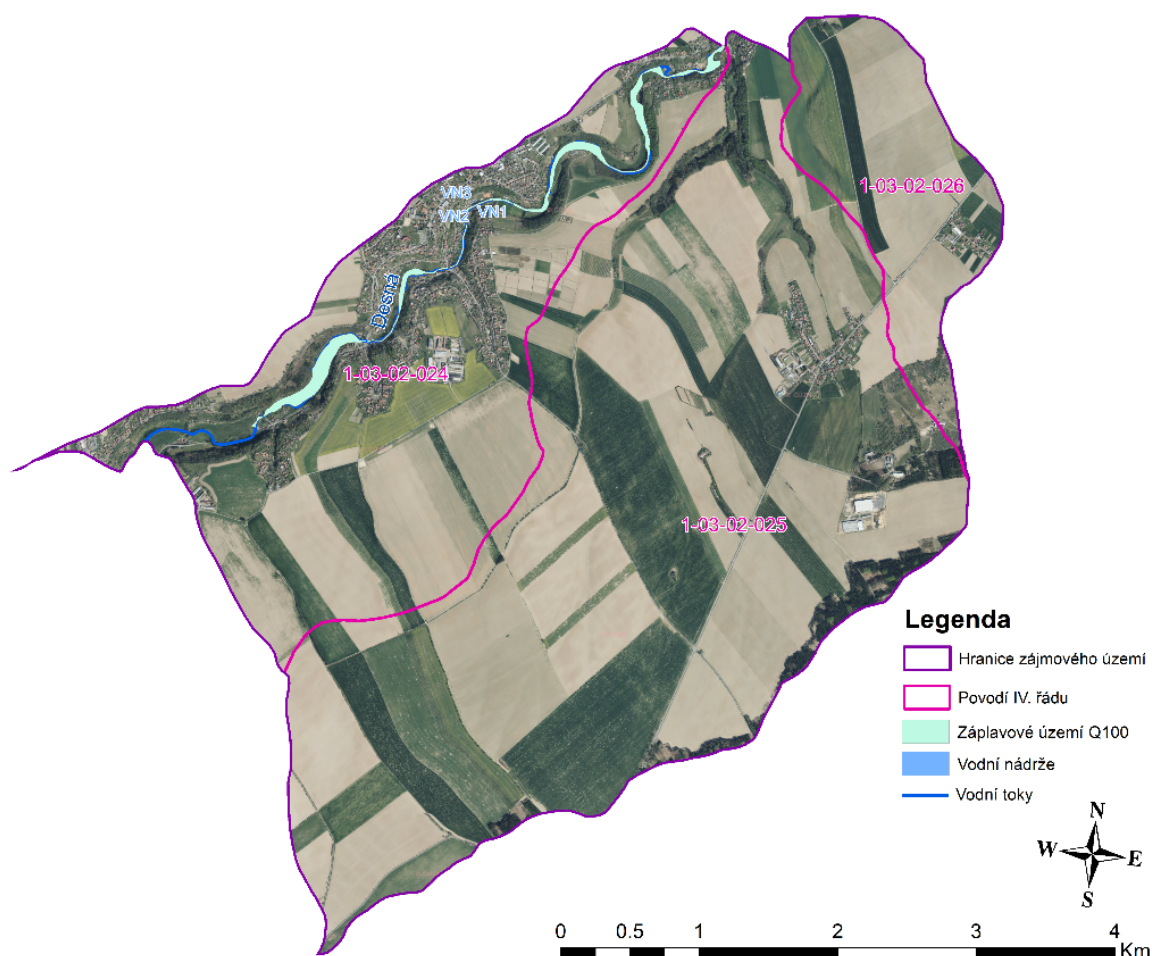
Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Úhrn (mm)	54	41	47	40	85	65	91	80	62	46	43	46

## 2.3 Hydrologické poměry

Zájmové území se skládá ze tří povodí IV. řádu, přičemž povodí 1-03-02-026 je zahrnuto jen z části sběrnou plochou kritických profilů KP1 a KP2. Čísla hydrologických pořadí a jejich příslušná plocha jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5. Výpis dotčených povodí [7]

ČHP	Název hlavního toku	Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]
1-03-02-024	Desná	7,55
1-03-02-024	Rulák	14,65
1-03-02-024	Desná	11,41



Obrázek 4. Hydrologické poměry v zájmovém území

Územím protéká pouze jeden významnější tok a tím je Desná.

**Desná** pramení v severní části Hornosvratecké vrchoviny v obci Borová. Pramen vytéká z malého bažinatého rybníčku v severní části obce v nadmořské výšce přibližně 645 m.n.m [8].

Tok od pramene postupuje severním směrem a protéká zalesněným územím, kde do něj z levé strany přitéká tok Desinka, až se následně dostane do obce Budislav, kde protéká průtočnou vodní nádrží Kamenné Sedliště. Za touto nádrží se Desná odklání východním směrem do obce Poříčí u Litomyšle, kde se do ní z pravé strany vlévá Oborský potok, a následně tok nabírá severovýchodního směru k obci Horní Újezd. V této obci Desná přijímá pravostranný přítok Lubenského potoka. Dále tok protéká obcemi Dolní Újezd a Osík, na jehož konci uhýbá severozápadním směrem, kde se do něj v tomto pořadí z levé strany vlévají Říkovický a Morašický potok. Za těmito přítoky už Desná teče souběžně s tokem Loučná, aby se následně v obci Nová Sídla, konkrétněji v místní části V Lukách, do tohoto toku z levé strany vlila. Loučná se dále po toku vlévá u Sezemic do Labe [9].

Celková délka toku Desná je 29,98 km. Správcem vodního toku je od 0,00 do 16,92 říčního kilometru Povodí Labe a dále od 16,92 do 29,98 říčního kilometru Lesy ČR [9].

Vodní nádrže se v zájmové lokalitě vyskytují jen v omezené míře. Pouze v intravilánu obce Dolní Újezd jsou tři nádrže sloužící k rekreačním účelům jako místní koupaliště.

Tabulka 6. Průtoky na řece Desné [10]

Místo profilu	N-leté průtoky [m³/s]				
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>
nad Říkovickým potokem	3	11	16	30	36
Dolní Újezd – ČOV	3,46	11,5	16,4	31,2	39,2

Tabulka 7. Hydrologické údaje vodních toků a nádrží v zájmovém území [7] [9]

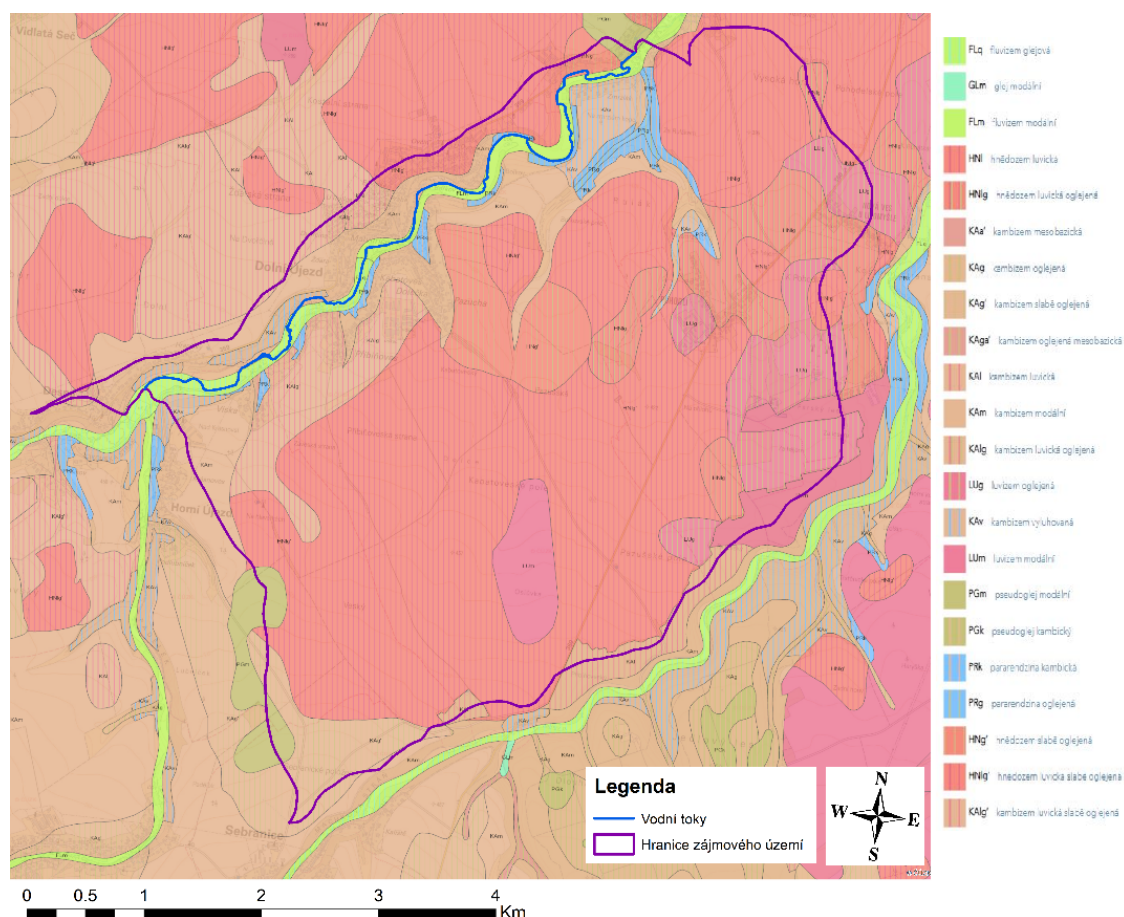
Povodí (ČHP)	Název hlavního toku	Plocha [km²]	Vodní toky				Vodní nádrže	
			IDVT	Název	Délka [m]	Správce toku	Název	Plocha [ha]
1-03-02-024	Desná	7,55	10100200	Desná	7216,08	Povodí Labe	VN1	0,03
			---	VT1	137,46	Povodí Labe	VN2	0,01
			---	---	---	---	VN3	0,03
1-03-02-025	Rulák	14,65	---	---	---	---	---	---
1-03-02-026	Desná	2,40	10100200	Desná	1038,07	Povodí Labe	---	---



Obrázek 5. Vodní tok Desná v intravilánu obce Dolní Újezd (zdroj: vlastní)

## 2.4 Pedologické poměry

Nejrozšířenějším půdním typem dle Taxonomického klasifikačního systému půd České republiky je v zájmovém území hnědozem luvická oglejená. Dalšími široce zastoupenými půdními typy jsou luvizem modální, luvizem oglejená, kambizem glejová. V říčních nivách toku Desná se vyskytují zejména fluvizem modální a fluvizem glejová [11].

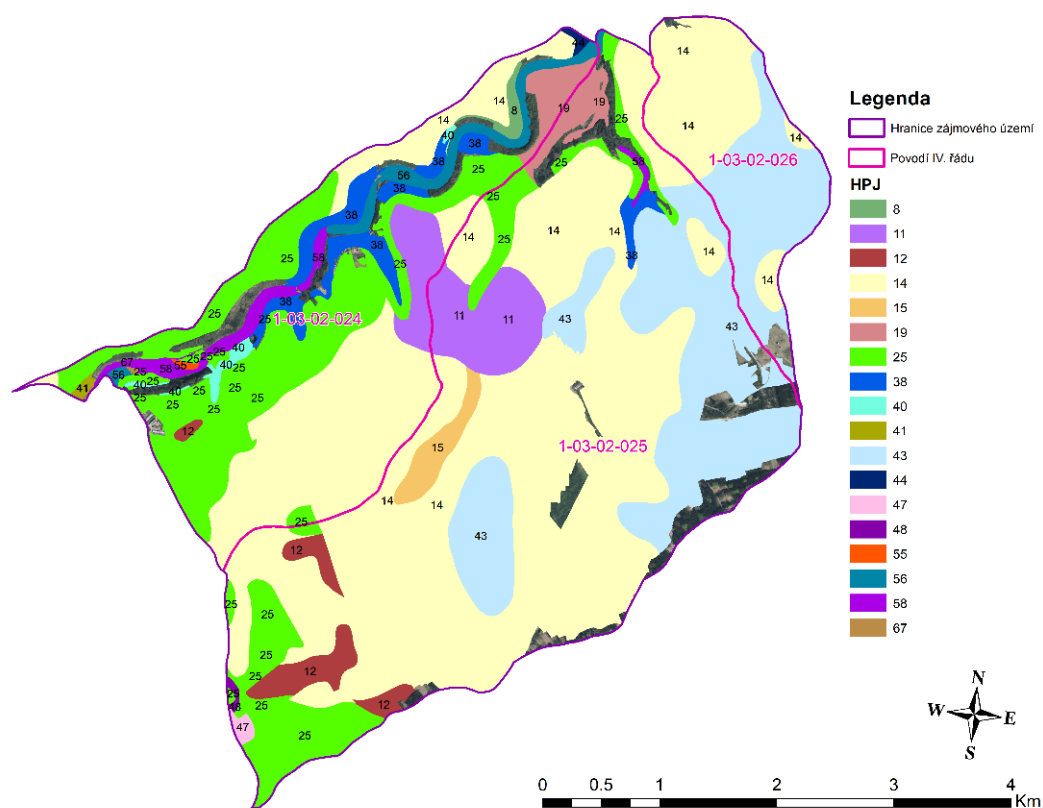


Obrázek 6. Mapa půdních typů v zájmovém území [12]

Další možnost klasifikace půd je za pomoci hlavní půdní jednotky (HPJ), která je zakotvena v pětímístném kódu BPEJ. V tomto kódu se nachází v pořadí na druhém a třetím místě. Tato soustava dohromady obsahuje 78 různých druhů HPJ, jež se dále scelují do 13 skupin půd s podobnými vlastnostmi [5].

Na zájmovém území jsou nejvíce zastoupeny HPJ 14, HPJ 25 a HPJ 43. Popis jednotlivých HPJ je uveden v tabulce 8 níže.





Obrázek 7. Mapa HPJ

Tabulka 8. Popis hlavních půdních jednotek vyskytujících se v zájmovém území [13]

HPJ	Popis
8	Černozemě modální, hnědozemě modální a luvické, luvizemě modální, popřípadě i kambizemě modální a luvické, včetně slabě oglejených variet, smyté, kde dochází ke kultivaci přechodného horizontu nebo substrátu na ploše větší než 50 %, na spraších, sprašových a svahových hlínách, lehčí středně těžké a středně těžké, převážně bez skeletu až slabě skeletovité ve vyšší sklonitosti.
11	Hnědozemě modální včetně slabě oglejených na sprašových a soliflukčních hlínách s převahou sprašového materiálu (prachovicích), středně těžké s těžší spodinou, bez skeletu, ojediněle slabě skeletovité, převážně s příznivými vlhkostními poměry.
12	Hnědozemě modální, kambizemě modální a kambizemě luvické, všechny včetně slabě oglejených variet na svahových (polygenetických) hlínách, středně těžké s těžkou spodinou, až středně skeletovité, vododržné, ve spodině s místním převlhčením.
14	Luvizemě modální, hnědozemě luvické včetně slabě oglejených na sprašových hlínách (prachovicích) nebo svahových (polygenetických) hlínách s výraznou eolickou příměsí, středně těžké s těžkou spodinou, s příznivými vláhovými poměry
15	Luvizemě modální a hnědozemě luvické, kambizemě luvické (kambizemě modální) včetně slabě oglejených variet na svahových hlínách s eolickou příměsí, středně těžké a s těžší spodinou, bez skeletu až středně skeletovité, vláhově příznivé pouze s krátkodobým převlhčením.
19	Pararendziny modální, kambické i vyluhované na opukách a tvrdých slínovcích nebo vápnitých svahových hlínách, ojediněle i kambizemě modální na zahliněném štěrkopísku, včetně slabě oglejených variet, středně těžké až s těžkou spodinou, slabě až středně skeletovité, s dobrým vláhovým režimem až krátkodobě převlhčené.

25	Kambizemě modální a vyluhované, eubazické až mezobazické, výjimečně i kambizemě pelické, včetně slabě oglejených variet na opukách a tvrdých slínovcích, vápnitých pískovcích, jílových sedimentech mořského neogénu, středně těžkém flyši, permokarbonu, středně těžké, až středně skeletovité, půdy s dobrou vodní kapacitou.
38	Půdy jako předcházející HPJ 37, zrnitostně však středně těžké až těžké, vzhledem k zrnitostnímu složení s lepší vododržností
40	Půdy se sklonitostí vyšší než 12 stupňů, na všech substrátech, zrnitostně středně těžké lehčí až lehké, s různou skeletovitostí, vláhově závislé na klimatu a expozici.
41	Půdy se sklonitostí vyšší než 12 stupňů, zrnitostně středně těžké až velmi těžké, s různou skeletovitostí, s poněkud příznivějšími vláhovými poměry.
43	Hnědozemě luvické oglejené, luvizemě oglejené na sprašových hlínách (prachovicích), soliflukčních hlínách s převahou sprašového materiálu, středně těžké, ve spodině i těžší, převážně bez skeletu nebo jen s příměsí, méně až slabě skeletovité, se sklonem k převlhčení.
44	Pseudogleje modální, pseudogleje luvické, na sprašových hlínách (prachovicích), soliflukčních hlínách s převahou sprašového materiálu, středně těžké, těžší ve spodině, bez skeletu nebo s příměsí, méně až slabě skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření.
47	Pseudogleje modální, pseudogleje luvické, kambizemě oglejené a glejové na svahových (polygenetických) hlínách, středně těžké, ve spodině těžší, bez skeletu až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému zamokření.
48	Kambizemě oglejené a glejové, pararendziny kambické oglejené, pararendziny oglejené a pseudogleje na opukách, břidlicích, drobách, permokarbonu nebo flyši, ojediněle bazických vyvřelinách a tufech, středně těžké lehčí až středně těžké, bez skeletu až středně skeletovité, se sklonem k dočasnému, převážně jarnímu zamokření.
55	Fluvizemě psefitické, arenické, stratifikované, výjimečně oglejené, černice arenické, koluvizemě arenické na lehkých nivních uloženinách, často s podloží teras, glaciofluvialních štěrkopísků, bez skeletu až slabě skeletovité, zpravidla písčité, výsušné.
56	Fluvizemě modální eubazické až mezobazické, fluvizemě kambické, fluvizemě stratifikované, koluvizemě modální, včetně karbonátových a oglejených subtypů na nivních uloženinách (> 0,7 m), často s podloží teras, glaciofluvialních štěrkopísků, středně těžké lehčí až středně těžké, zpravidla bez skeletu až slabě skeletovité, vláhově příznivé.
58	Fluvizemě glejové a oglejené na nivních uloženinách (> 0,7 m), popřípadě s podloží teras, středně těžké nebo středně těžké lehčí (výjimečně i lehké), bez skeletu až slabě skeletovité, hladina vody níže 1 m, vláhové poměry nepříznivé.
67	Gleje, pseudogleje glejové na různých substrátech často vrstevnatě uložených, v polohách širokých depresí a rovinných celků, lehčí středně těžké, středně těžké až velmi těžké, bez skeletu až slabě skeletovité, při vodních tocích závislé na výšce hladiny toku, těžko odvodnitelné.

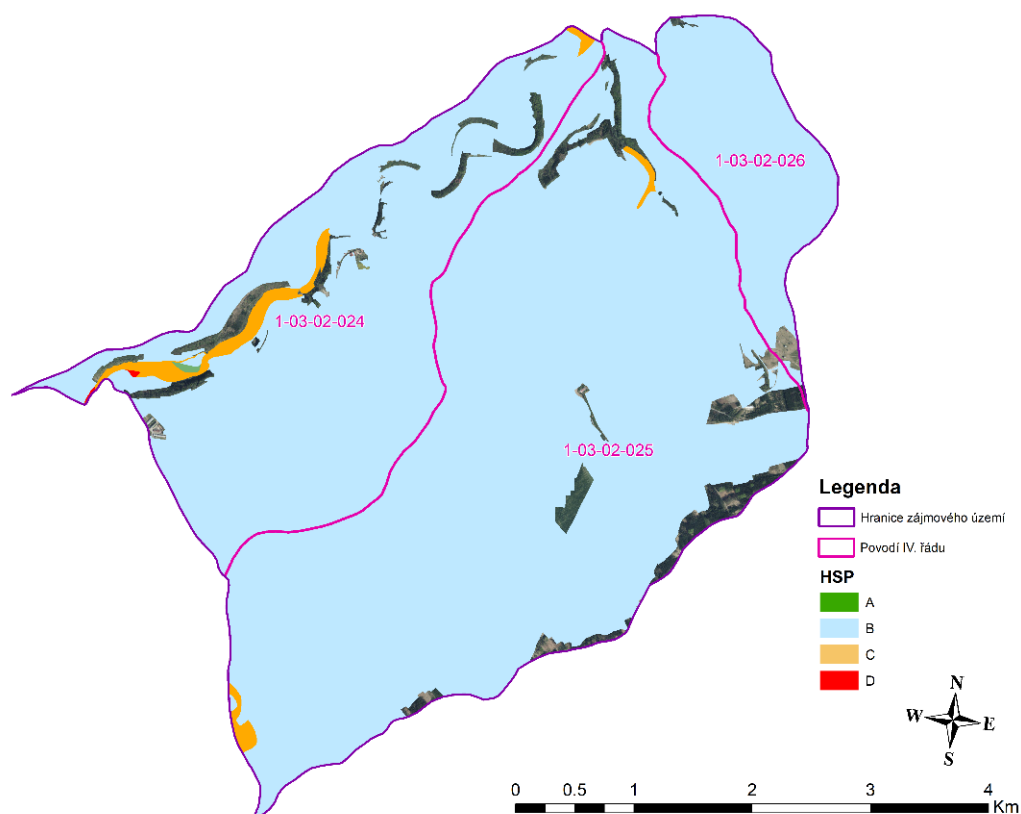
## 2.5 Hydropedologické poměry

Hydrologické vlastnosti půd jsou důležité pro stanovení objemu přímého odtoku metodou CN – křivek. Rozlišujeme čtyři skupiny podle minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy, bez pokryvu po dlouhodobém sycení. Toto rozdělení nám dává přehled o retenčním potenciálu půd, a tedy možnosti snížit případný odtok. Charakteristiky jednotlivých HSP jsou uvedeny v tabulce 10 [14].

K určení hydrologické skupiny půd byl použit kód BPEJ, konkrétněji hlavní půdní jednotky (HPJ), které se nachází v pořadí na druhém a třetím místě tohoto kódu. S využitím převodové tabulky (Janeček a kol., 2012) byly jednotlivé HPJ přiřazeny do příslušných hydrologických skupin.



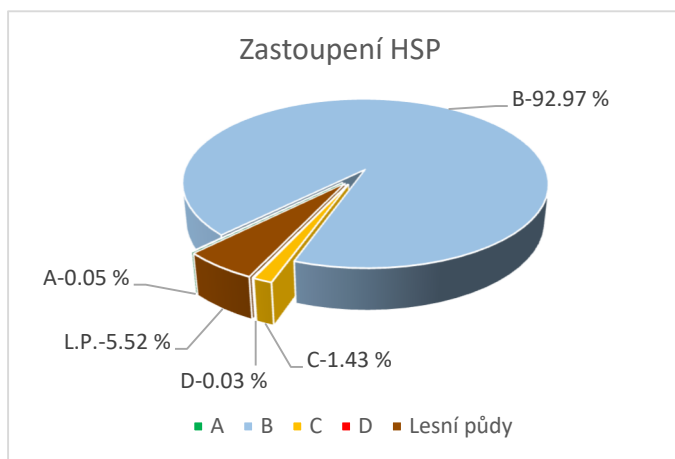
V zájmovém území se vyskytují všechny čtyři hydrologické skupiny půd. Dominantní zastoupení má ale skupina B, která tvoří téměř 93 % zájmového území. Jedná se o půdy se střední rychlostí infiltrace, které jsou vzhledem k erozním a odtokovým poměrům příznivé. Ostatní skupiny mají pouze minoritní zastoupení a jsou situovány převážně kolem vodního toku Desná. Zastoupení jednotlivých skupin je podrobněji vyobrazeno v tabulce 9. a grafu 1.



Obrázek 8. Mapa HSP

Tabulka 9. Přehled HSP

HSP	Plocha [ha]	Zastoupení [%]
A	1.2	0.05
B	2294.5	92.97
C	35.3	1.43
D	0.9	0.03
Lesní půdy	136.2	5.52



Graf 1. Zastoupení HSP

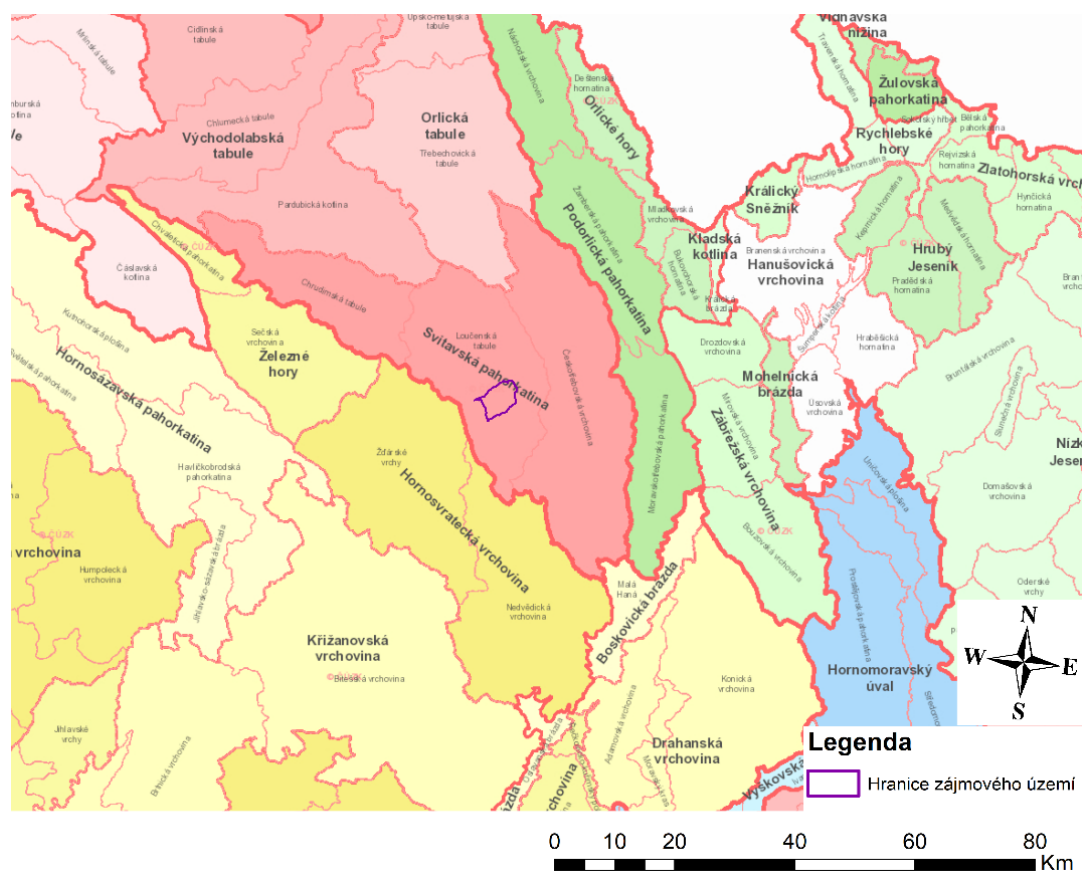
Tabulka 10. Charakteristiky hydrologických vlastností půd [14]

Hydrologická skupina	Charakteristiky hydrologických vlastností půd
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace ( $> 0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrné odvodněné písky nebo štěrky
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace ( $0,06 - 0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace ( $0,02 - 0,06 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité
D	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace ( $< 0,02 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíl s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím.

## 2.6 Geomorfologické poměry

Zájmové území můžeme z geomorfologického hlediska zařadit do systému Hercynského, provincie Česká Vysočina, subprovincie Česká tabule, oblasti Východočeské tabule, celku Svitavská pahorkatina, podcelku Loučenská tabule a okrsku Litomyšlský úval [15].

Svitavská pahorkatina je geomorfologický celek o rozloze  $1712,77 \text{ km}^2$  a střední výšce  $412,2 \text{ m.n.m.}$ , který se nachází v jihovýchodní části Východočeské tabule. Nejvyšším bodem je Baldský vrch ( $692,5 \text{ m.n.m.}$ ) [15].

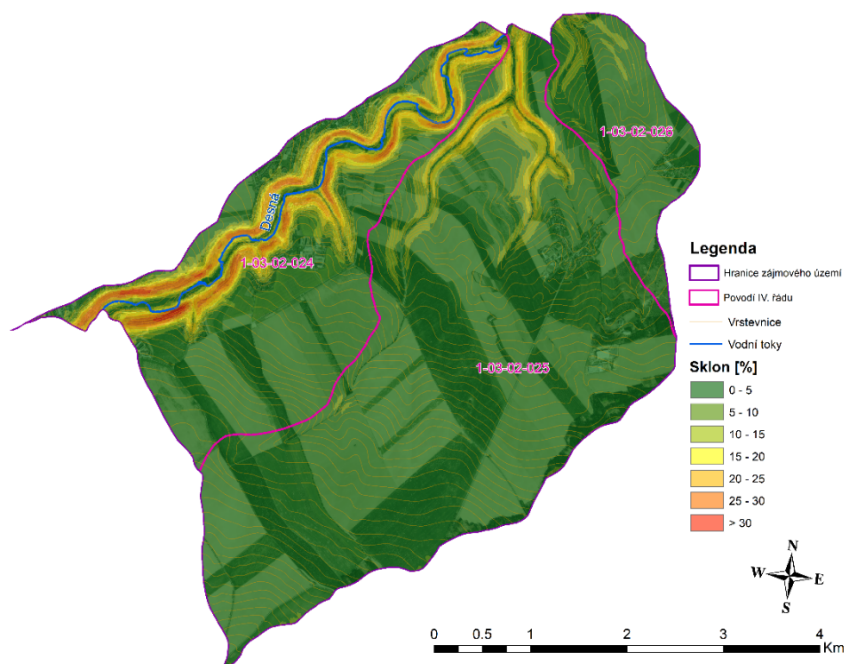


Obrázek 9. Geomorfologická mapa [16]

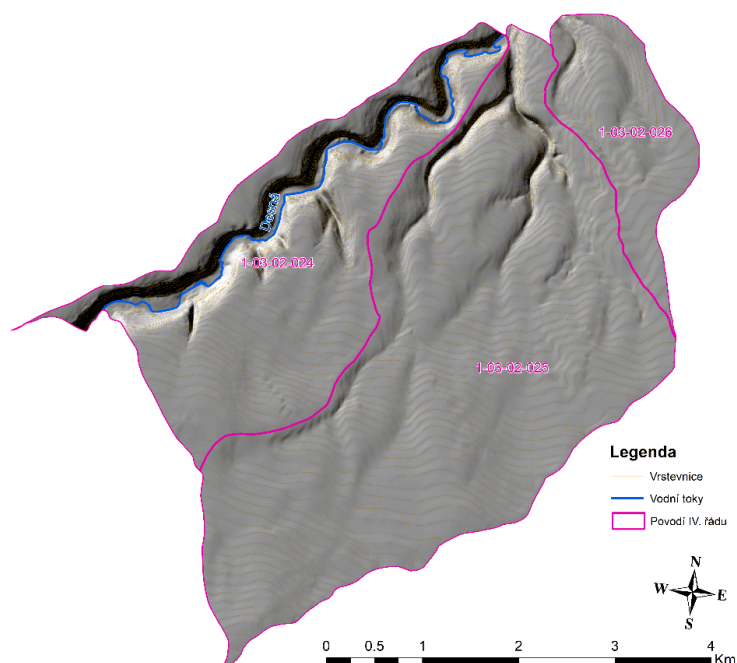
## 2.7 Sklonové poměry

Jak je patrné z mapy sklonových poměrů níže, území je z převážné části rovinaté až mírně sklonité (sklon do 5 %). Největší sklony se nacházejí podél vodního toku Desná, který protéká severozápadní částí území. Větší svažitosti se nacházejí také v severní části povodí IV. řádu ČHP 1-03-02-025, kde se terén svažuje k obci Osík.

Pro lepší vizualizaci terénu byl vytvořen v programu ArcGIS reliéf terénu za pomoci funkce *Hillshade*. Tato funkce vytváří ve stupních šedi 3D model povrchu terénu. Uvažuje se u ní s relativní polohou slunce, která slouží pro stínování modelu [17].



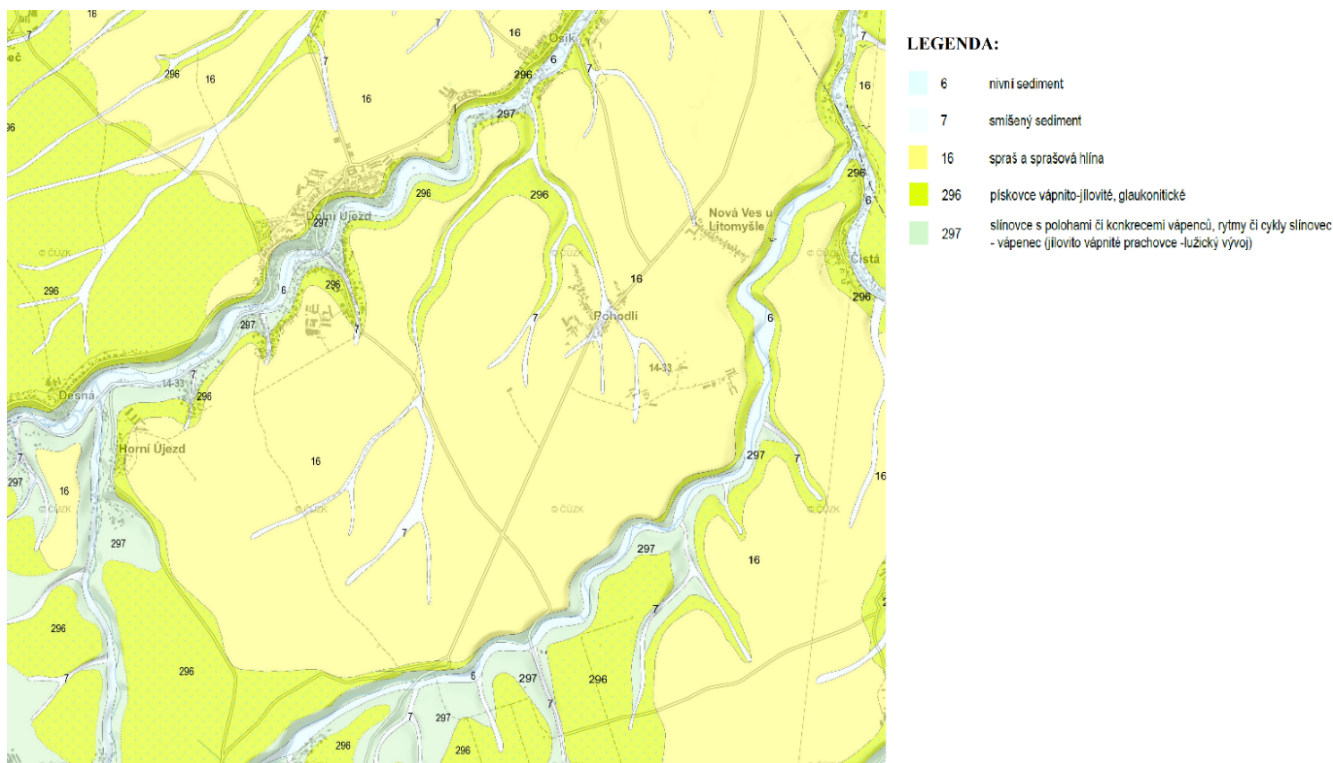
Obrázek 10. Mapa sklonových poměrů



Obrázek 11. Reliéf terénu

## 2.8 Geologické poměry

Převážnou část zájmové lokality tvoří nezpevněný kvartérní sediment v podobě spraší a sprašových hlín. Údolí řeky Desné je bohaté především na výskyt nivních sedimentů, v menší míře jsou zastoupeny také slínovce a smíšený sediment.



Obrázek 12. Geologická mapa zájmového území [18]

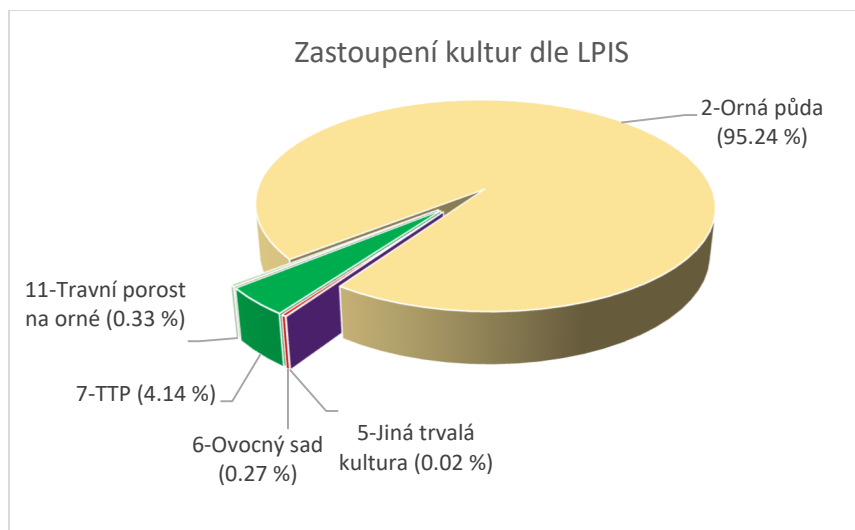
## 2.9 Plošná lokalizace druhů pozemků

Ve veřejném registru půdy LPIS je zařazeno 1953,2 ha z celkových 2468 ha, které tvoří celé řešené území. Lesy, ostatní plochy a zastavěné území obce jsou zobrazeny v ortofotomapě na obrázku 13. Nejvíce zastoupeným druhem je orná půda, která tvoří přes 95 % krajinného pokryvu na zájmovém území. To vypovídá o intenzivním využití zájmové lokality k pěstování zemědělských plodin. Plošná lokalizace druhů pozemků byla vytvořena z aktuální vrstvy LPIS. Plošné zastoupení kultur v zájmovém území je uvedeno v tabulce 11.

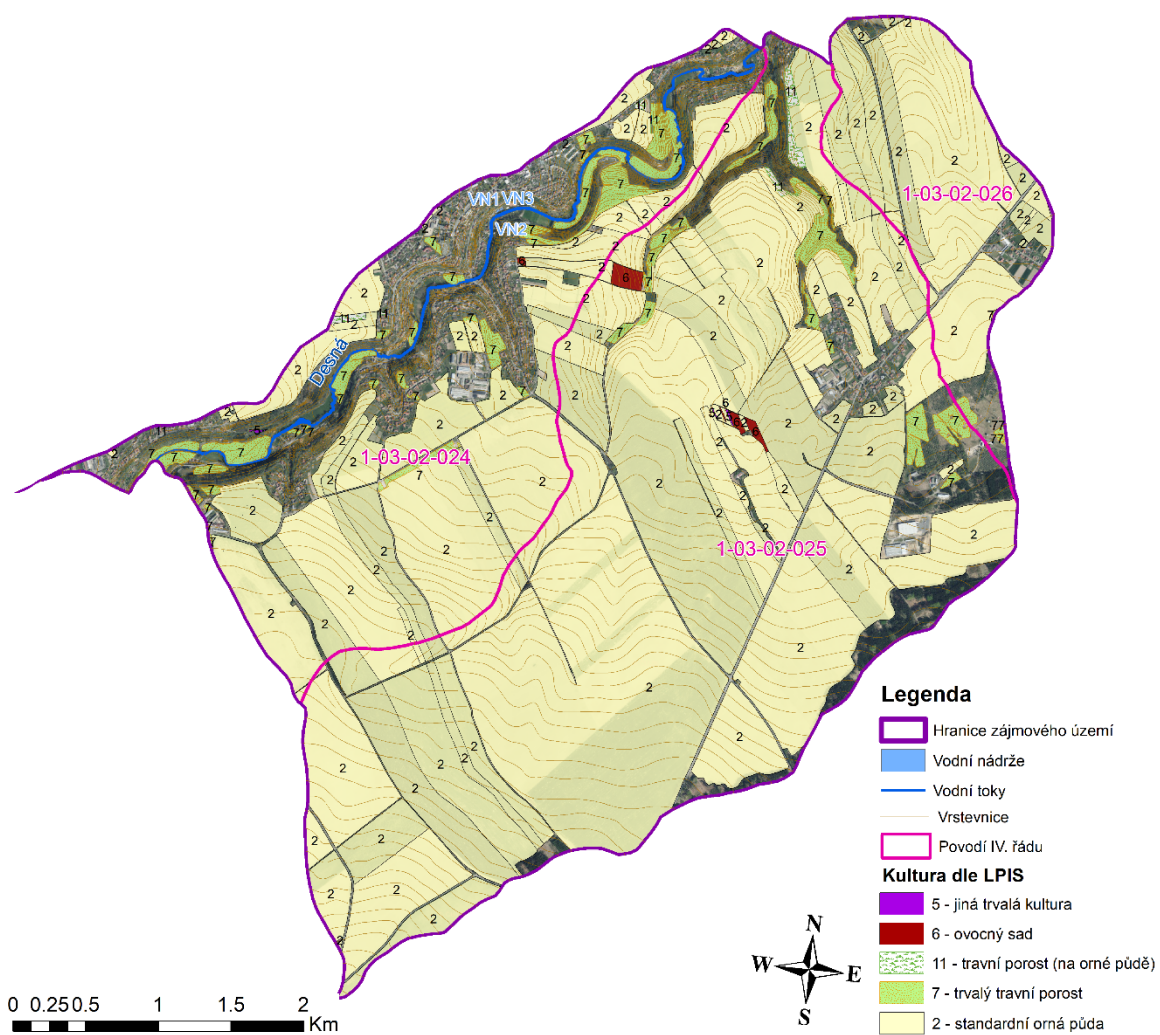
Tabulka 11. Plošné zastoupení jednotlivých kultur v zájmovém území

Kultura	Plocha [ha]	Zastoupení [%]
2 - Standardní orná půda	1860.31	95.24
5 - Jiná trvalá kultura	0.40	0.02
6 - Ovocný sad	5.20	0.27
7 - Trvalý travní porost	80.83	4.14
11 - Travní porost (na orné půdě)	6.46	0.33
Celkem	1953.20	100





*Graf 2. Zastoupení kultur dle LPIS*



*Obrázek 13. Mapa plošné lokalizace druhů pozemků*

### 3. POPIS POUŽITÝCH PROGRAMŮ A METOD

#### 3.1 ArcGIS

ArcGIS je geografický informační systém (GIS), který slouží k vytváření, správě, a především analýze prostorových dat, jež mohou být dále vizualizovány ve formě přehledných map. Tento software vyvinula firma Esri, která má ve svém portfoliu řadu produktů jako například ArcGIS Mobile, ArcGIS Online, ArcGIS Desktop. Součástí produktu ArcGIS Desktop je základní aplikace ArcMap, která byla použita při zpracování této práce k editaci, analýze prostorových dat a tvorbě map [19].

##### 3.1.1 Digitální model terénu (DMT)

Pojmem digitální model terénu se rozumí zjednodušené vyobrazení reálného povrchu tzn. bez staveb, vegetace a dalších objektů na zemském povrchu [20].

Pro tvorbu DMT byl použita interpolační metoda *Topo to raster*, která byla navržena k tvorbě hydrologicky korektního digitálního modelu terénu a je v zásadě přizpůsobena pro práci s vrstevnicovými daty. Interpolace slouží k výpočtu hodnot výšek v místech, kde nejsou známy. Jako vstupní data byly použity shapefilové vrstvy vrstevnic (získané ze ZABAGED), vodních toků, vodních nádrží a hranice zájmového území. Ke každé vrstvě musel být přiřazen správný typ vstupních dat (např. vrstevnice – contour atd.) a zvolena velikost buňky výstupního rastru. V této práci byla použita velikost 10 x10 m [20].

K tomu, abychom mohli model nazvat hydrologicky korektní, musí být odstraněny umělé prohlubně a vrcholky, které vznikají jako chyby při interpolaci. Pro tento účel byla použita funkce *Fill*, při které dojde k vyhlazení modelu. DMT byl dále využit k tvorbě rastru sklonitosti, reliéfu terénu, LS faktoru a dalším doplňkovým funkcím [20].

##### 3.1.2 Směry a akumulace odtoku

Modelováním těchto odtokových charakteristik můžeme získat přehled o hydrologické situaci v zájmovém území a slouží jako podklad k identifikaci kritických bodů a drah soustředěného odtoku.

Při určování směru odtoku se ze sousedních buněk ve směru hodinových ručiček vybere buňka s maximálním poklesem. V programu ArcGIS se směry odtoku stanoví z hydrologicky korektního DMT pomocí funkce *Flow direction*.

Akumulace odtoku vychází ze směru odtoku, kdy dochází k postupnému načítání buněk, které přitékají do právě počítané buňky. Čím je hodnota buňky větší, tím k vyšší akumulaci odtoku dochází. Ve výpočtu se uvažuje s tím, že veškeré srážky se transformují na povrchový odtok a ztráty se zanedbávají. Pro stanovení akumulace se použila funkce *Flow Accumulation*, kde vstupem vrstva se směry odtoku.

#### 3.2 Ztráta půdy vodní erozí – rovnice USLE

Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí – USLE (Wischmeier a Smith, 1978), slouží ke stanovení ohroženosti zemědělských půd vodní erozí a vyhodnocení účinnosti navrhovaných opatření. Rovnice vychází z principu přípustné ztráty půdy na jednotkovém pozemku o délce 22,13 m a sklonu 9 %, jehož povrch je trvale udržován jako úhor. Hodnotu přípustné ztráty

půdy můžeme definovat jako maximální velikost eroze půdy, která nám umožňuje dlouhodobě udržovat dostatečnou úrodnost půdy [14].

Dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí dle rovnice USLE je vyjádřena takto [14]:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

kde: G – dlouhodobá průměrná ztráta půdy [ $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ]  
R – faktor erozní účinnosti deště [ $MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$ ]  
K – faktor erodovatelnosti půdy [ $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot cm^{-1}$ ]  
L – faktor délky svahu [-]  
S – faktor sklonu svahu [-]  
C – faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu [-]  
P – faktor účinnosti protierozních opatření [-]

### 3.2.1 Faktor erozní účinnosti deště (R faktor)

Tento faktor závisí na četnosti výskytu srážek, jejich kinetické energii, intenzitě a úhrnu. Hodnota R faktoru se určuje z dlouhodobých záznamů o srážkách, přičemž rozhodující význam mají přívalové deště. S dešti u nichž je úhrn menší než 12,5 mm a pokud v průběhu 15 minut nenapadlo alespoň 6,25 mm se neuvažuje. Pro celé území České republiky byla stanovena průměrná hodnota R faktoru  $40 MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$  na základě dlouhodobých řad ombrografických záznamů ze stanic ČHMÚ a důkladného rozboru erozní účinnosti srážek [14].

V současnosti ve společnosti rezonuje téma globální klimatické změny, která má vliv i na R faktor. Jedná se zejména o změnu rozložení srážek (jejich množství a intenzita). Problém je patrný zejména v letních měsících, kdy je častější výskyt přívalových dešťů. Toto lze do výpočtu ztráty půdy promítnout zvětšením R faktoru. Součástí této práce je také posouzení účinků této změny na ztrátu půdy vodní erozí.

### 3.2.2 Faktor erodovatelnosti půdy (K faktor)

K faktor vyjadřuje náchylnost půdy k erozi, jež je ovlivněna vlastnostmi půdy jako infiltrační schopnost, odolnost agregátu proti dopadajícím kapkám deště a povrchovému odtoku. K faktor lze určit pomocí odvozeného vztahu, který je dán obsahem prachu, jílu, písku, humusu ornice, třídy struktury ornice a propustnosti zeminy. Další variantou, jak K faktor stanovit, je za pomoci nomogramu. Pro obě metody je nutné mít výsledky rozboru půdních vzorků vyšetřovaného pozemku [14].

Poslední možností, jak stanovit K faktor, je za pomoci HPJ, které se nacházejí v kódu BPEJ na 2. a 3. místě. Tohoto postupu bylo využito i v této práci, kdy se K faktor stanovil z HPJ s využitím převodové tabulky (Janeček a kol., 2012) [14].

### 3.2.3 Faktory délky a sklonu svahu (L, S faktor)

Topografický faktor LS je vyjádřen kombinací faktoru délky svahu L a faktoru sklonu svahu S. Tento faktor vyjadřuje závislost morfologie terénu na velikosti ztráty půdy vodní erozí [14].

Při řešení heterogenních svahů v komplexní morfologii se doporučuje využívat systémů GIS a DMT, čehož bylo využito při stanovení LS faktoru v této práci v kombinaci s programem USLE2D.

### 3.2.4 Faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu (C faktor)

Ochranný vliv vegetačního pokryvu se příznivě podílí na ochranně půdy před erozí. Důležitými účinky jsou ochrana půdy před vlivy dopadajících dešťových kapek, zpomalování povrchového odtoku, mechanické zpevnění půdy kořenovým systémem a nepřímé působení vegetace na půdní vlastnosti jako pórovitost a propustnost. V závislosti na uvedených účincích, jsou vzhledem k protierozní ochraně vhodné zejména porosty trav a jetelovin. Naopak nevhodné je pěstování širokořádkových plodin (kukuřice, okopaniny) [14].

C faktor se stanovuje pro danou strukturu pěstovaných plodin podle postupu jejich střídání, včetně období mezi střídáním plodin, v pěti obdobích dle agrotechnických prací. Pokud nelze zjistit strukturu a střídání pěstovaných plodin lze C faktor určit dle průměrného zastoupení jednotlivých plodin s využitím hodnot C faktoru, které jsou uvedeny v metodice (Janeček a kol., 2012) [14].

### 3.2.5 Faktor účinnosti protierozních opatření (P faktor)

Tímto faktorem se charakterizují protierozní opatření, která se na pozemku vyskytují. Pokud nejsou na pozemku realizována žádná opatření, tak hodnota P faktoru je rovna 1,0 [14].

### 3.2.6 Výpočet dlouhodobé ztráty půdy – G

Pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí byl v programu ArcGIS využit nástroj *Raster Calculator*, kterým byly jednotlivé rastrové vrstvy vynásobeny. Příklad výpočtu pro stávající stav:

$$G = 40 * K\_faktor * LS\_faktor * C\_faktor * 1 \quad (2)$$

Kde: 40 – konstanta R faktoru

K\_faktor – vygenerovaná rastrová vrstva K faktoru

LS\_faktor – vygenerovaná rastrová vrstva LS faktoru z programu USLE2D

C\_faktor – vygenerovaná rastrová vrstva C faktoru

1 – konstanta P faktoru

Výsledkem výpočtu je rastrová vrstva plošné dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy.

Hodnota přípustné ztráty půdy se doporučuje dle metodiky (Janeček a kol., 2012) uvažovat pro středně hluboké (30–60 cm) a hluboké půdy (nad 60 cm) ve výši  $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Pokud vypočtená ztráta půdy překročí tuto hodnotu, je patrné, že způsob využití pozemku nezabezpečí dostatečnou protierozní ochranu. Na těchto pozemcích by mělo dojít k návrhu, či změně protierozních opatření, která by se promítla změnou faktorů, které vstupují do rovnice USLE, a i následnému zmenšení ztráty půdy vodní erozí.

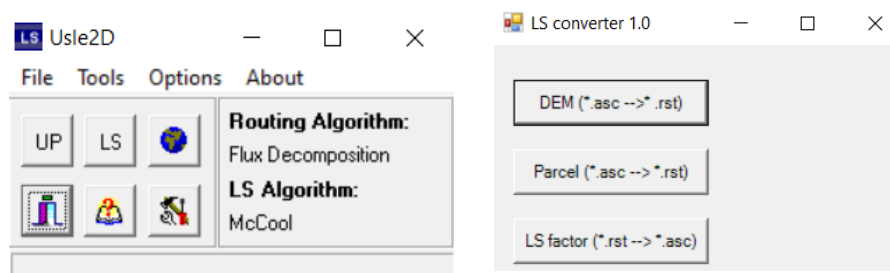
## 3.3 USLE2D

Pro stanovení LS faktoru byl využit program USLE2D v kombinaci s programem ArcGIS, jelikož USLE2D pracuje pouze s daty ve formátu Idrisi (\*.rst). Pro převod dat z ArcGIS do formátu Idrisi a následně i zpět byl použit program LS convertor.

Vstupními daty pro program USLE2D je hydrologicky korektní DMT a rastrová vrstva „parcel“. Tato rastrová vrstva rozděluje území na dílčí plochy, na kterých probíhá eroze (EHP), vložím bariér, které plní funkci překážek bránících plošnému povrchovému odtoku. To má za důsledek zkrácení délky svahu a tím i zmenšení LS faktoru [21]. Plošné vymezení EHP vychází z vrstvy LPIS.



Pro práci byl zvolen výpočet pomocí „Routing Algorithm: flux decomposition“, který umožňuje větvení odtokové dráhy a „LS Algorithm: McCool“.



Obrázek 14. Ukázka programu USLE2D a LS convertor

### 3.4 DesQ – MAXQ

Tento program byl společně s metodou čísel odtokových křivek CN využit k výpočtu odtokových charakteristik ve vybraných kritických profilech. Model je vhodný pro výpočet maximálních průtoků z nepozorovaných profilů, jež můžeme charakterizovat tzv. modelovým povodím, které je zjednodušením povodí reálného. Zjednodušení spočívá v rozdělení povodí na dva rovinné svahy a tvarově jej lze přirovnat k „otevřené knize“. Vychází se z předpokladu, že maximální odtok je vyvolán přívalovým deštěm, který rovnoměrně zasahuje oba svahy povodí stejným srážkovým úhrnem, intenzitou a dobou trvání [22].

Model poskytuje tři varianty výpočtu. Každá varianta vyžaduje specifické vstupní hodnoty, které jsou programem vyžadovány. Pro tuto práci byla vybrána varianta I., která slouží k výpočtu maximálního N-letého průtoku vyvolaného deštěm kritické doby trvání. Vstupní data jako délka a sklon údolnice, plocha a sklon svahů byla vygenerována programem ArcGIS, pro dané kritické profily, s využitím zonální statistiky. Typ a průměrné číslo CN křivky bylo určeno metodou čísel odtokových křivek. Hodnoty maximálních jednodenních srážkových úhrnů s dobou opakování  $N=5, 10, 20, 50, 100$  let, byly brány pro nejbližší srážkoměrnou stanici, která se v seznamu tohoto programu nacházela – Lubná.

Výstupem z programu jsou tabulky N-letých řad maximálních průtoků a objemy povodňových vln. Grafickým výstupem je hydrogram povodňové vlny.

Obrázek 15. Ukázka zadávání vstupních dat v programu DesQ-MAXQ

### 3.5 Metoda čísel odtokových křivek – CN

Metoda představuje jednoduchý srážkoodtokový model, který lze použít pro stanovení objemu přímého odtoku a kulminačního průtoku způsobeného přervalovým deštěm v zemědělsky využívaných povodích do 10 km<sup>2</sup>. Jedná se o metodu, která v sobě kloubí kompromis mezi praktickou jednoduchostí, se kterou lze získat potřebné vstupy, a dostatečnou přesností [14].

Čísla odtokových křivek – CN – lze vyjádřit podíl typu odtoku z celkového přímého odtoku, který rozdělujeme na povrchový a hypodermický. Hypodermický odtok nastává po infiltraci srážky do svrchní vrstvy půdy a následnému odtoku z povodí, aniž by se dostala k hladině podzemní vody. Obecně platí, že čím větší je číslo CN, tím pravděpodobněji se jedná o povrchový odtok. Čísla CN mohou nabývat hodnot v rozsahu 0-100, přičemž povodí s hodnotou 100 si lze představit jako téměř nepropustné povodí [14].

#### 3.5.1 Stanovení čísel odtokových křivek – CN

Čísla CN jsou určena dle:

- a) Hydrologických vlastností půd – dělí se na 4 skupiny A, B, C, D podle minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení. Podrobněji jsou rozepsány v kapitole 2.5 Hydropedologické poměry.
- b) Vlhkosti půdy – rozlišujeme tři stupně na základě pětidenního úhrnu předcházejících srážek – index předchozích srážek (IPS). IPS I značí půdu pouze s minimální zásobou vody a hodnota IPS III půdu přesycenou. Pro návrh se používá hodnota IPS II, která byla použita i v této práci.
- c) Využití půdy – půdu zatřídíme podle vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a zastoupení protierozních opatření [14].

Ke stanovení čísel odtokových křivek CN bylo využito programu ArcGIS. Nejprve bylo potřeba stanovit a klasifikovat vrstvu HSP a vrstvu krajinného pokryvu. Jako poklady pro stanovení vrstvy krajinného pokryvu byla využita data z registru půdních bloků LPIS a ortofotomapa. Na základě těchto podkladů byly klasifikovány vrstvy intravilán, komunikace, lesy, ostatní plochy, vodní plochy a půdní bloky (LPIS), které se na závěr sloučily a vznikla vrstva krajinného pokryvu. Následně došlo k vytvoření vektorové vrstvy, jež kombinuje vrstvu HSP a vrstvu krajinného pokryvu. Ve finální fázi byla jednotlivým kombinacím přiřazena odpovídající hodnota čísla CN dle převodové tabulky (Janeček a kol., 2012) a vytvořena rastrová vrstva čísel CN.

Výsledná rastrová vrstva čísel CN slouží jako podklad pro stanovení průměrných hodnot čísel CN na svazích v povodí vybraných kritických profilů s použitím zonální statistiky v programu ArcGIS. Tyto hodnoty jsou jedním ze vstupů, který vyžaduje program DesQ-MAXQ.

### 3.6 Identifikace kritických bodů (KB) a kritických profilů (KP)

Identifikace KB a KP byla provedena na základě Metodického návodu pro identifikaci KB [23].

V zájmovém území byly na základě hydrologicky korektního DMT s použitím nástrojů *Flow direction* a *Flow accumulation* (viz. kapitola 3.1.2) v ArcGIS vygenerovány dráhy soustředěného

odtoku. V místech, kde linie drah soustředěného odtoku vnikají do zastavěného území obce se stanovili závěrové profily. Ke každému závěrovému profilu byly v programu ArcGIS vygenerovány a vykresleny polygony sběrných ploch a následně stanoveny základní charakteristiky jako velikost sběrné plochy, její průměrný sklon, druh pozemku a procentuální zastoupení orné půdy [23].

Pro identifikaci KB jsou dle metodiky rozhodující tato kombinovaná kritéria [23]:

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| • K1 – velikost přispívající plochy       | 0,3 – 10,0 km <sup>2</sup> |
| • K2 – průměrný sklon přispívající plochy | ≥ 3,5 %                    |
| • K3 – podíl plochy orné půdy v povodí    | ≥ 40 %                     |
| • K4 – ukazatel kritických podmínek F     | ≥ 1,85                     |

Ukazatel kritických podmínek v sobě zahrnuje kombinaci fyzicko-geografických podmínek, způsobu využití území, regionálních rozdílů krajinného pokryvu a potencionálního výskytu srážek extrémních hodnot. Čím vyšší je hodnota tohoto ukazatele, tím vyšší je potenciální nebezpečí vzniku přívalové povodně do ohroženého zastavěného území [23].

Vzorec pro výpočet ukazatele F [23]:

$$F = P_{p,r} \cdot H_{m,r} \cdot (a_1 \cdot I_p + a_2 \cdot \text{ORP} + a_3 \cdot \text{CNII}) \quad (3)$$

Kde: F – ukazatel kritických podmínek [-],  
a – vektor vah [1,48876; 3,09204; 0,467171],  
 $P_{p,r}$  – relativní hodnota velikosti přispívající plochy (vzhledem k max. 10 km<sup>2</sup>) [-],  
 $I_p$  – hodnota průměrného sklonu přispívající plochy [%],  
ORP – podíl plochy orné půdy [%],  
CNII – hodnoty CNII pro území ČR,  
 $H_{m,r}$  – relativní hodnota úhrnu jednodenních srážek s obou opakování 100 let pro území ČR (vzhledem k max. 285,7 mm) [-]

Všechny závěrové profily, jejichž sběrné plochy splňují podmínky kombinovaného kritéria (K1-K4), lze označit za kritické body. Závěrové profily, které nesplňují všechna uvedená kritéria, jsou nazývány kritickými profily. Tím, že nesplňují všechna kritéria, nelze jejich vliv na potenciální ohrožení zastavěného území zanedbat a z posouzení vynechat. Povodňové ohrožení zastavěného území mohou způsobit i dráhy soustředěného odtoku s přispívající plochou již od 5 ha.

## 4. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

V této kapitole je podrobněji popsáno stanovení variantních hodnot dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí na vybraných EHP pro stávající stav, navržená protierozní opatření a jedna varianta se také zabývá klimatickou změnou. V další části je uveden výpočet základních charakteristik přímého odtoku pro stanovené sběrné plochy kritických profilů (KP) ve stávajícím stavu a pro navržená opatření s využitím programu DesQ-MAXQ.

### 4.1 Rozbor erozních poměrů v zájmovém území

V zájmovém území byly spočteny erozní poměry na půdních blocích z veřejného registru půdních bloků LPIS. Pro vyhodnocení byly využity půdní bloky s výměrou větší než 5 ha. Celkem se jedná o 61 půdních bloků, které jsou dále nazývány erozně hodnocené plochy (EHP). Detailnější tabelární a vizuální posouzení bylo provedeno pro 30 EHP, které byly ve stávajícím stavu nejvíce erozně ohroženy. K výpočtu dlouhodobé ztráty půdy byla využita rovnice USLE v prostředí programu ArcGIS (kapitola 3.2.).

#### 4.1.1 Stávající stav

Popis jednotlivých faktorů, které vstupují do rovnice USLE:

##### R faktor

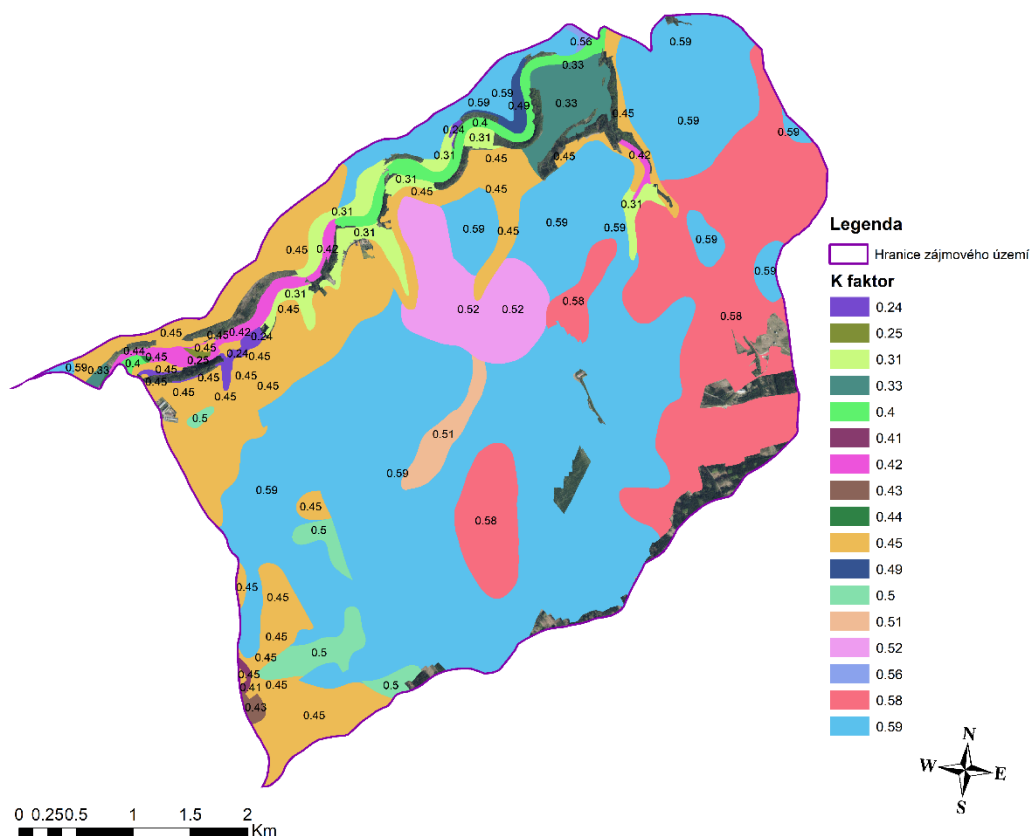
Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.2.1., pro celé území České republiky byla stanovena průměrná hodnota R faktoru  $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ . Tato hodnota tedy byla použita a vstupuje do výpočtu jako konstanta.

##### K faktor

K faktor se stanovil z HPJ za pomoci převodové tabulky (Janeček a kol., 2012).

Tabulka 12. Zastoupení K faktoru v zájmovém území

HPJ	K faktor	Plocha [ha]	Zastoupení [%]
8	0.49	7.41	0.30
11	0.52	104.63	4.24
12	0.5	43.97	1.78
14	0.59	1175.54	47.63
15	0.51	23.78	0.96
19	0.33	40.51	1.64
25	0.45	390.15	15.81
38	0.31	60.64	2.46
40	0.24	8.63	0.35
41	0.33	2.36	0.10
43	0.58	402.78	16.32
44	0.56	2.50	0.10
47	0.43	4.31	0.17
48	0.41	1.76	0.07
55	0.25	1.15	0.05
56	0.4	34.11	1.38
58	0.42	26.74	1.08
67	0.44	0.85	0.03
Lesní půdy	0	136.21	5.52
Celkem		2468.03	100



Obrázek 16. Mapa K faktoru

### LS faktor

LS faktor byl vygenerován v programu USLE2D v kombinaci s programy ArcGIS a LS convertor.

### C faktor

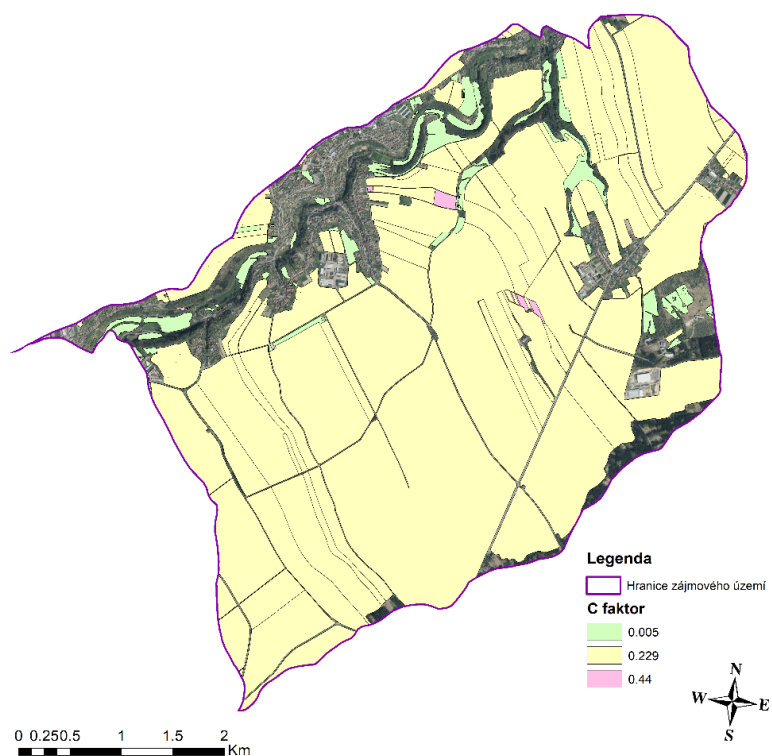
Pro stanovení C faktoru byl v této práci využit veřejný registr půdních bloků LPIS. Podle kódů kultury byl zvolen odpovídající C faktor (viz. tabulka 13). Pro stanovení C faktoru na orné půdě (kultura 2) se využilo zatřídění dle klimatického regionu (viz. tabulka 14), který je uveden na prvním místě kódu BPEJ. Celé zájmové území se nachází v klimatickém regionu 5, čemuž odpovídá hodnota  $C = 0,229$ . Pro kultury s kódem 5 (jiná trvalá kultura) a 6 (ovocný sad) byla uvažována hodnota C faktoru 0,44. Dále pro kultury s kódem 7 (trvalý travní porost) a 11 (travní porost na orné půdě) byla stanovena hodnota C faktoru 0,005 [24].

Tabulka 13. Hodnoty C faktoru dle kultury

Kultura	C faktor	Plocha [ha]
2	0.229	1860.31
5	0.44	0.40
6	0.44	5.20
7	0.005	80.83
11	0.005	6.46
Celkem	-	1953.20

Tabulka 14. Hodnoty C faktoru dle klimatických regionů [23]

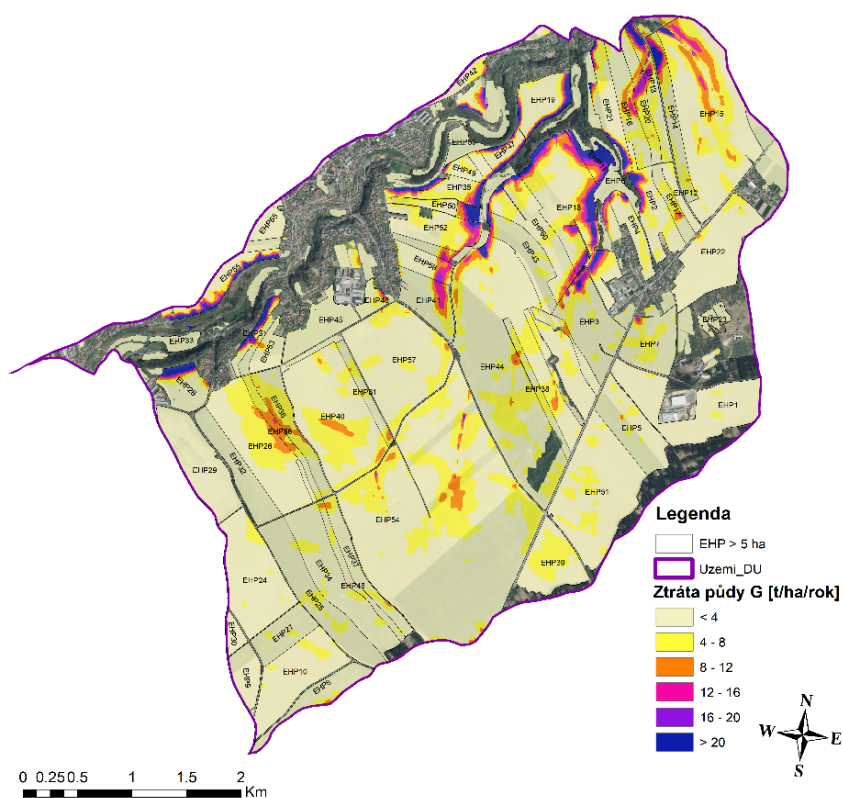
Klimatický region	Hodnoty faktoru C orná půda
0	0,291
1	0,278
2	0,266
3	0,254
4	0,241
5	0,229
6	0,216
7	0,204
8	0,192
9	0,179



Obrázek 17. Mapa C faktoru

### P faktor

Po průzkumu území bylo shledáno, že v řešeném území se nenachází žádná protierozní opatření, tudíž hodnota P faktoru má hodnotu 1 a do výpočtu vstupuje jako konstanta pro celé území.



Obrázek 18. Stávající stav ztráty půdy na zájmovém území

#### 4.1.2 Návrh a posouzení protierozních opatření

V rámci této práce byly navrženy a vyhodnoceny tři variantní řešení protierozních opatření. Každé navržené opatření se projeví změnou faktorů, které vstupují do rovnice USLE, a tím ke snížení ztráty půdy vodní erozí.

##### Organizační opatření – PEO 1

Organizační opatření patří k nejjednodušším protierozním opatřením. Vyžadují však spolupráci a zájem subjektů, které v území hospodaří. Organizační opatření se zabývají zejména otázkou vegetačního pokryvu, který hraje významnou roli v ochraně půdy před účinky eroze. Vegetační pokryv chrání půdu před erozním účinkem dopadajících kapek, ovlivňuje vsak dešťové vody a díky svému kořenovému systému zvyšuje soudržnost půdy před účinky stékající vody [14].

K organizačním opatřením patří změna tvaru a velikosti pozemku, ochranné zatravnění a zalesnění, delimitace kultur, pásové střídání plodin, protierozní oseední postupy [14].

V této práci byl navržen protierozní oseední postup na veškeré orné půdě a dále byly vymezeny dvě EHP na kterých bylo navrženo pásové střídání plodin

##### Protierozní oseední postup

Oseedním postupem se rozumí vhodné rozmístění zemědělských plodin do honů tak, aby se pravidelně v průběhu několika let vystřídaly. Střídáním plodin dojde k zachování úrodnosti půdy a zajištění vysokých výnosů. Při vhodné skladbě oseedního postupu slouží jako ochrana půdy před erozí. Tohoto účinku lze dosáhnout zařazením co nejvíce plodin s ochranným protierozním účinkem (např. trávy, píceiny, vojtěška) a zároveň vyloučit plodiny s nízkou protierozní účinností (kukuřice, brambory, cukrovka) [25].

- Navržen na orné půdě v zájmovém území
- R faktor: nedojde ke změně
- K faktor: nedojde ke změně
- LS faktor: nedojde ke změně
- C faktor: 0,08
- P faktor: 0,8

Tabulka 15. Navržený oseední postup

Plodina	C faktor
jetel luční	0.02
pšenice ozimá	0.12
ječmen jarní	0.15
jetelotráva	0.02
Luštěniny	0.05
pšenice ozimá	0.12
<b>průměr</b>	<b>0.08</b>

##### Pásové střídání plodin

Při pásovém střídání se střídají různé široké pásy erozně nebezpečných plodin, jako kukuřice, brambory a další širokořádkové plodiny, s pásy s vyšším protierozním účinkem (obilniny, píceiny, travní porost). Pásy by měly být vedeny po vrstevnicích s maximálním odklonem do 30°. Pásové

střídání plodin omezuje vznik soustředěného odtoku. V ochranném pásu dochází ke zpomalení či zastavení odtoku a infiltraci vody do půdy. Střídání plodin v pásech zajišťuje rovnoměrnou ochranu zemědělského pozemku před vlivy eroze po celý rok [26].

- Navrženo na EHP 7 a EHP 39
- R faktor: nedojde ke změně
- K faktor: nedojde ke změně
- LS faktor: nedojde ke změně
- C faktor: ochranný pás – TTP (C=0,005), chráněný pás – původní orná půda (C=0,229)
- P faktor: 0,8

Šířka ochranného pásu byla vypočtena dle rovnice 4, uvedené v publikaci Antal J. a kol., 2005. Šířka pásů byla volena v násobcích šesti, aby odpovídala šířce záběrů hospodářských strojů.

*Tabulka 16. Vstupní data pro dimenzování šířky ochranného pásu*

Potenciální retence ochranného pásu	H <sub>R,D</sub>	114.12	mm
Výška přímého odtoku ochranného pásu	H <sub>0D</sub>	9.57	mm
Max. denní 24h úhrn N <sub>10</sub>	H <sub>s</sub>	61	mm
CN ochranného pásu	CN	69	-

Potenciální retence chráněného pásu	H <sub>RL</sub>	98.78	mm
Výška přímého odtoku chráněného pásu	H <sub>0L</sub>	12.15	mm
Max. denní 24h úhrn N <sub>10</sub>	H <sub>s</sub>	61	mm
CN chráněného pásu	CN	72	-

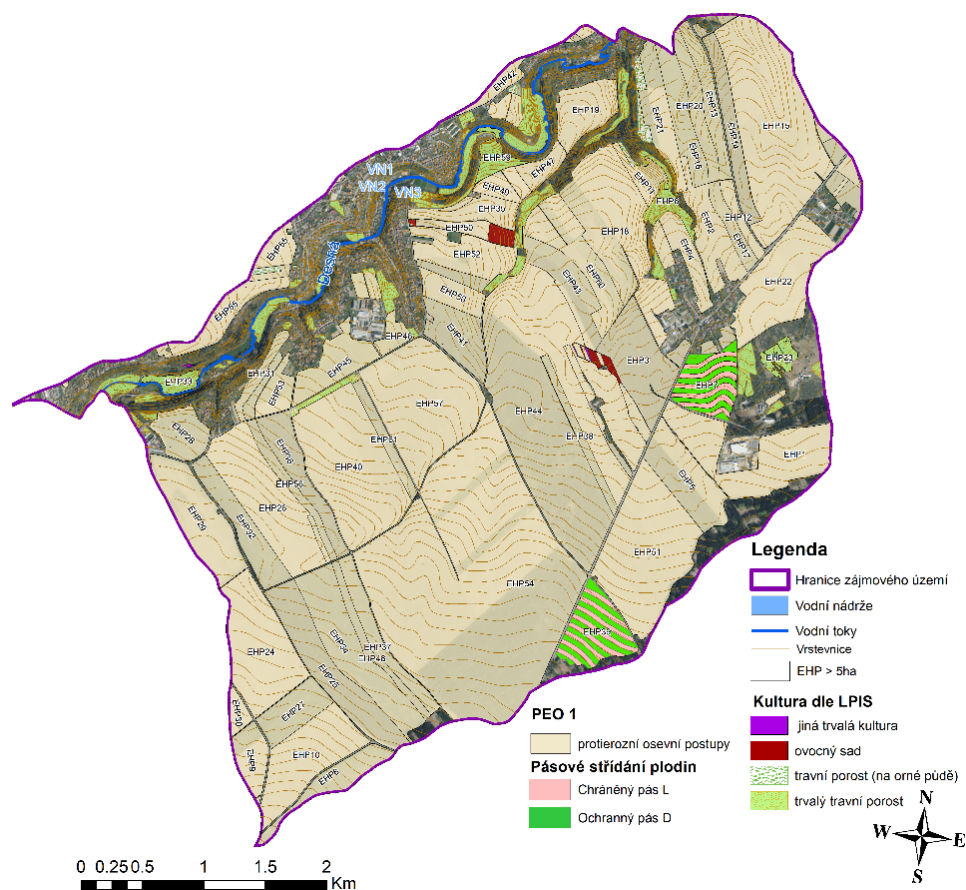
<b>Šířka chráněného pásu L</b>	<b>36</b>	<b>m</b>
<b>Šířka ochranného pásu D</b>	<b>42</b>	<b>m</b>

Rovnice pro výpočet šířky ochranného pásu [27]:

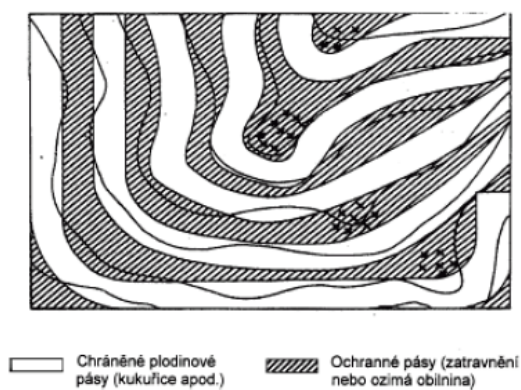
$$D = L * \frac{H_{O,L}}{0,2 * (H_{R,D} - H_S)} \quad (4)$$

Kde: D – šířka ochranného pásu [m]  
L – šířka chráněného pásu [m]  
H<sub>O,L</sub> – výška odtoku z chráněného pásu [mm]  
H<sub>R,D</sub> – potenciální retence ochranného vsakovacího pásu [mm]  
H<sub>S</sub> – maximální denní 24 h srážkový úhrn (N<sub>10</sub>) [mm]





Obrázek 19. Návrh PEO 1

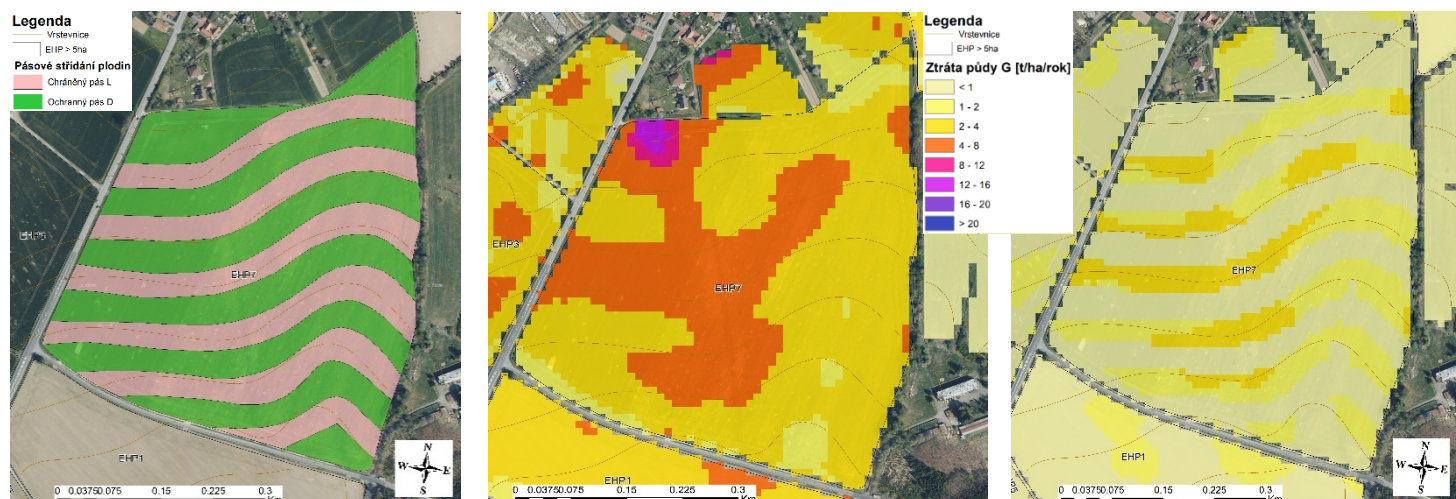


Obrázek 20. Pásové střídání [14]

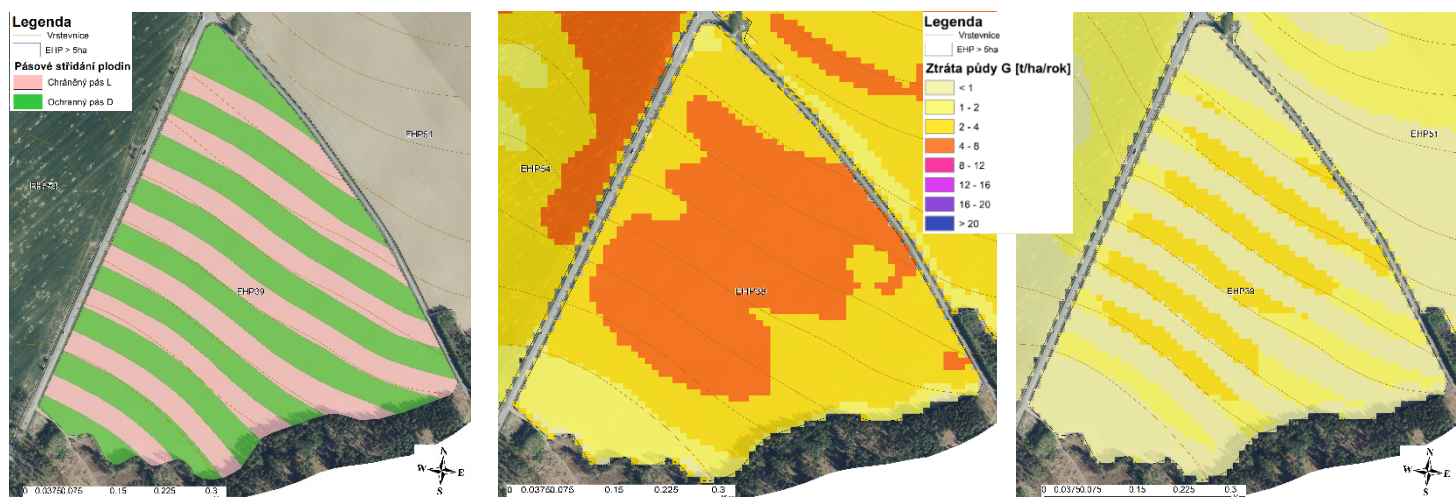
V současné době dochází k stále větší aplikaci pásového střídání jako protierozního opatření. Příkladem může být zemědělský holding společností Rostěnice, a.s., který v současnosti hospodaří na ploše 10 000 ha. Pozemky, kde je aplikováno pásové střídání plodin tvoří téměř 1 000 ha. Toto opatření je navrženo ve značné míře na pozemcích v obcích Lovčičky a Bošovice na jižní Moravě, kde hospodaří zmíněný holding. (obr. 21) [28].



Obrázek 21. Aplikace pásového střídání plodin v obcích Lovčičky a Bošovice [29]



Obrázek 22. Návrh pásového střídání a porovnání ztráty půdy před a po návrhu – EHP7

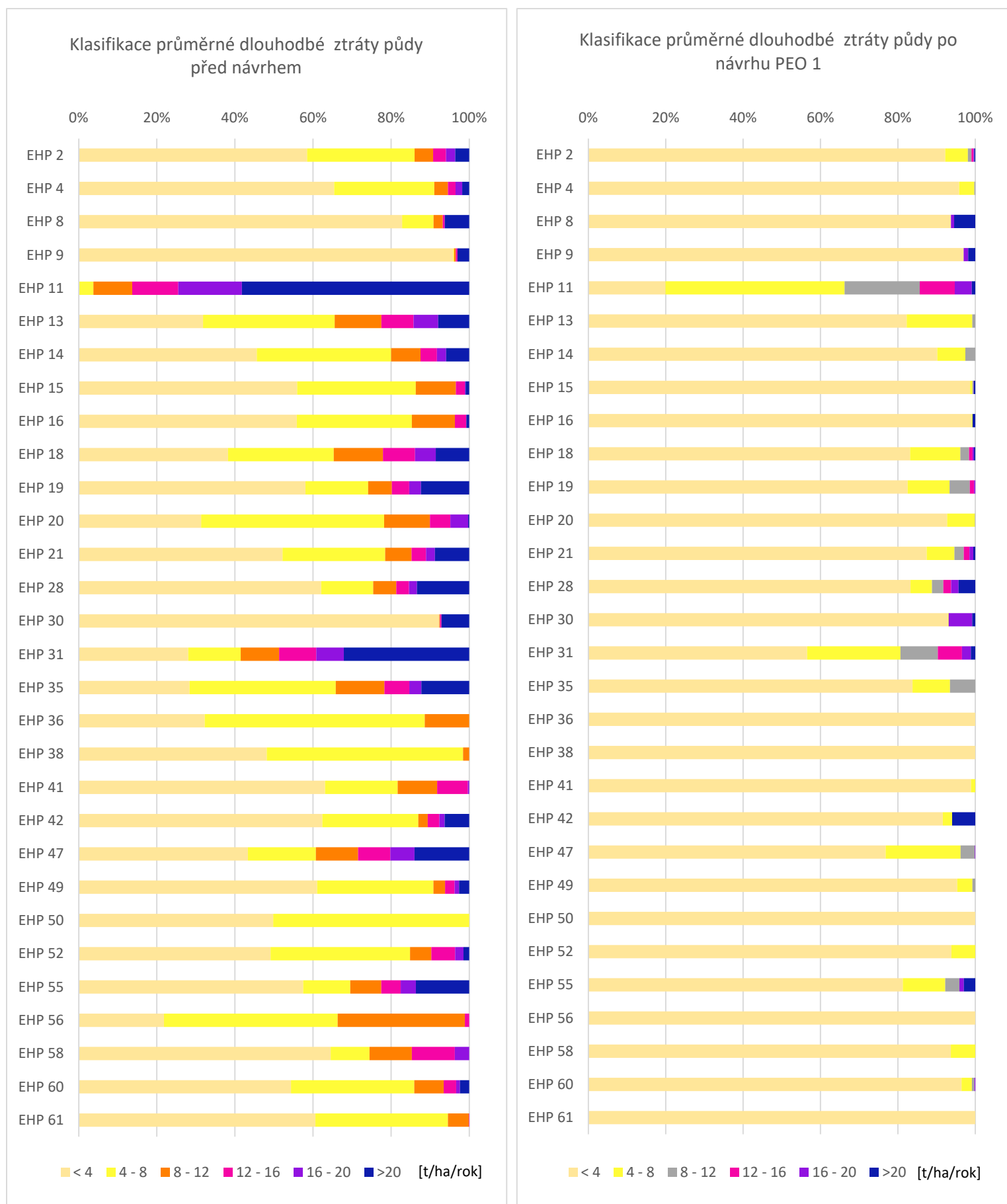


Obrázek 23. Návrh pásového střídání a porovnání ztráty půdy před a po návrhu – EHP39

Tabulka 17. Porovnání průměrné ztráty půdy na EHP7 a EHP39

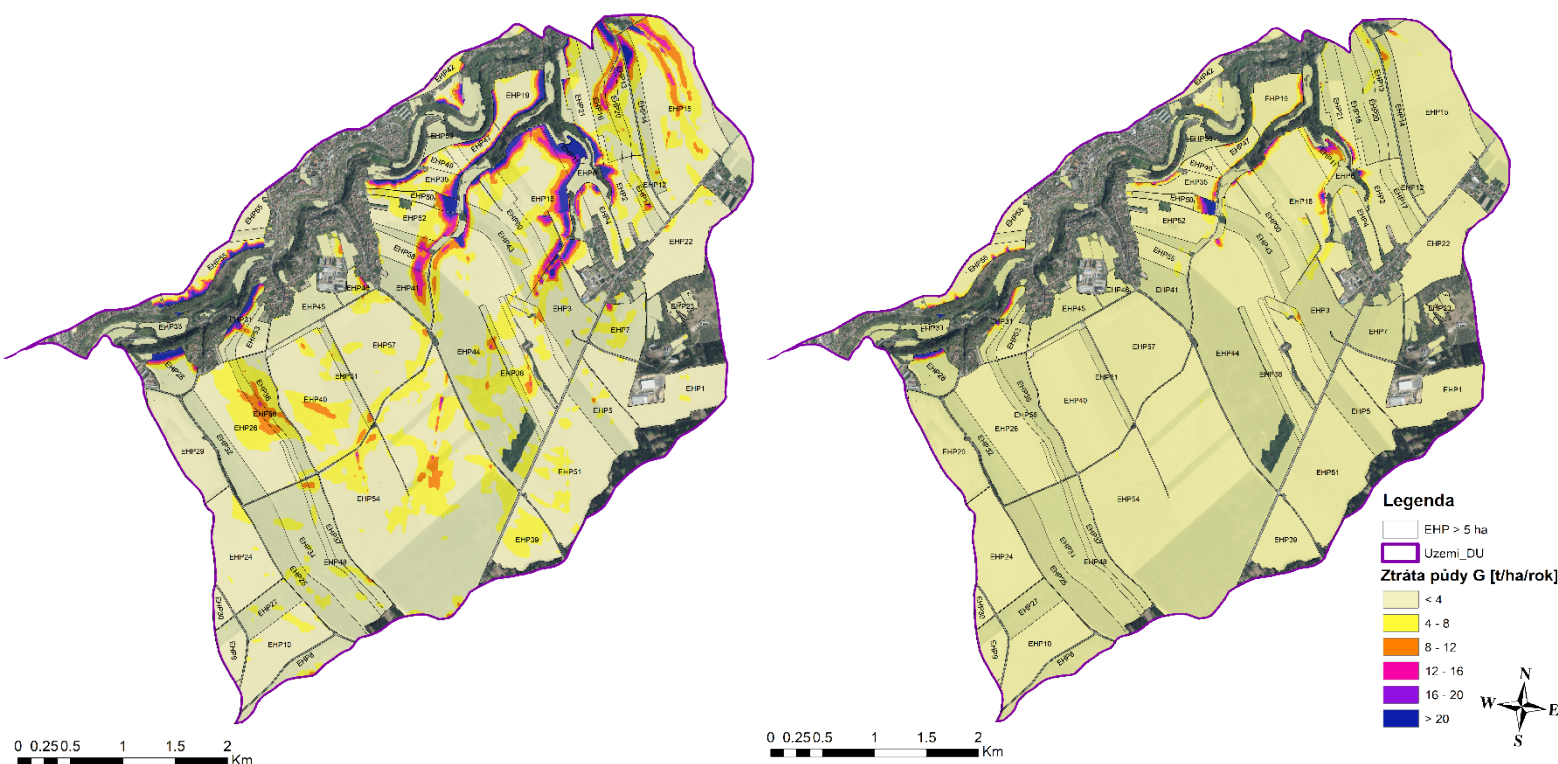
EHP	Plocha [ha]	Průměrná ztráta půdy G	
		Před [t/ha/rok]	Po [t/ha/rok]
EHP7	23.32	3.69	0.82
EHP39	26.59	3.62	0.85

Vizuální klasifikace průměrné dlouhodobé ztráty půdy dle procentuálního podílu před a po návrhu opatření byla vyhodnocena pro 30 EHP, které byly ve stávajícím stavu nejvíce ohroženy ztrátou půdy vodní erozí. Jednotlivé EHP byly rozděleny do šesti kategorií dle erozní ohroženosti a jejich hodnoty před a po návrhu převedeny do grafu, který slouží k přehlednému vizuálnímu porovnání účinnosti opatření.



Graf 3. Klasifikace ztráty půdy před a po návrhu PEO 1





Obrázek 24. Porovnání ztráty půdy před a po návrhu PEO 1

### Agrotechnická opatření – PEO 2

Agrotechnická opatření slouží zejména ke zkrácení času, kdy je půda bez vegetačního pokryvu, na minimum a ke zvýšení vsakovací schopnosti půdy. Půda bez vegetačního pokryvu je totiž nejvíce ohrožena erozním smyvem. Za tímto účelem lze cíleně využívat posklizňové zbytky plodin a biomasu meziplodin. Tato opatření je vhodné aplikovat zejména u plodin s nízkou protierozní účinností (okopaniny, kukuřice, ozimá řepka) v rizikových obdobích, kdy je půda nejvíce ohrožena erozí. K rizikovým obdobím patří letní měsíce, ve kterých je nejčastější výskyt přivalových srážek, a období tání sněhu. Rostlinnými zbytky zdrsňený povrch pozemku zpomaluje povrchový odtok a zlepšuje podmínky pro zasakování srážek [14] [26].

Další možností účinného agrotechnického protierozního opatření je modifikace orby. Místo orby je využíváno mělké kypření půdy, ale i hlubší prokypření ornice či části podorničí bez obracení zpracované půdy. Nepříznivé účinky vodní eroze lze také snížit u technologií spojených s orbou. Toho lze dosáhnout pojezdem hospodářské mechanizace ve směru vrstevnic (nebo směru blízkému vrstevnic) a překlápěním půdy proti svahu za použití otočných pluhů. Překlápěním půdy proti svahu lze navíc omezit „erozi orbou“, která je v současnosti stále podceňovaná [14] [26].

K agrotechnickým opatřením dále řadíme výsev do ochranné plodiny, zatravnění meziřadí, pásové zpracování půdy, mulčování, hrázkování, důlkování, plečkování, dlátování a podrývání. V rámci těchto opatření je třeba ve většině případů využít speciální zemědělské techniky. Je tedy třeba počítat s určitou zainteresovaností zemědělských subjektů, protože nákup speciální techniky přináší nemalé investice [26].

V rámci tohoto opatření byl navržen výsev do ochranné plodiny. Toto opatření ovlivňuje zejména C faktor a dále také P faktor.

#### Výsev do ochranné plodiny

Tato technologie je spojena s omezeným zpracováním půdy. Rostlinný materiál je využit k protierozní ochraně. Výsevem do ochranné plodiny dojde ke zkrácení doby, kdy je půda bez vegetačního pokryvu a snižování povrchového odtoku spojeného se zvýšeným vsakem vody do půdy. Jako ochrannou plodinu lze využít vymrzající meziploidy (svazenka vratičolistá, hořčice bílá), které v průběhu zimy odumřou. Následně se na jaře vysévá speciálním strojem do půdy pokryté mulčem vzniklým z vymrznuté meziploidy [26].

- Navržen na veškeré orné půdě v zájmovém území
- R faktor: nedojde ke změně
- K faktor: nedojde ke změně
- LS faktor: nedojde ke změně
- C faktor: 0,12
- P faktor: 0,8

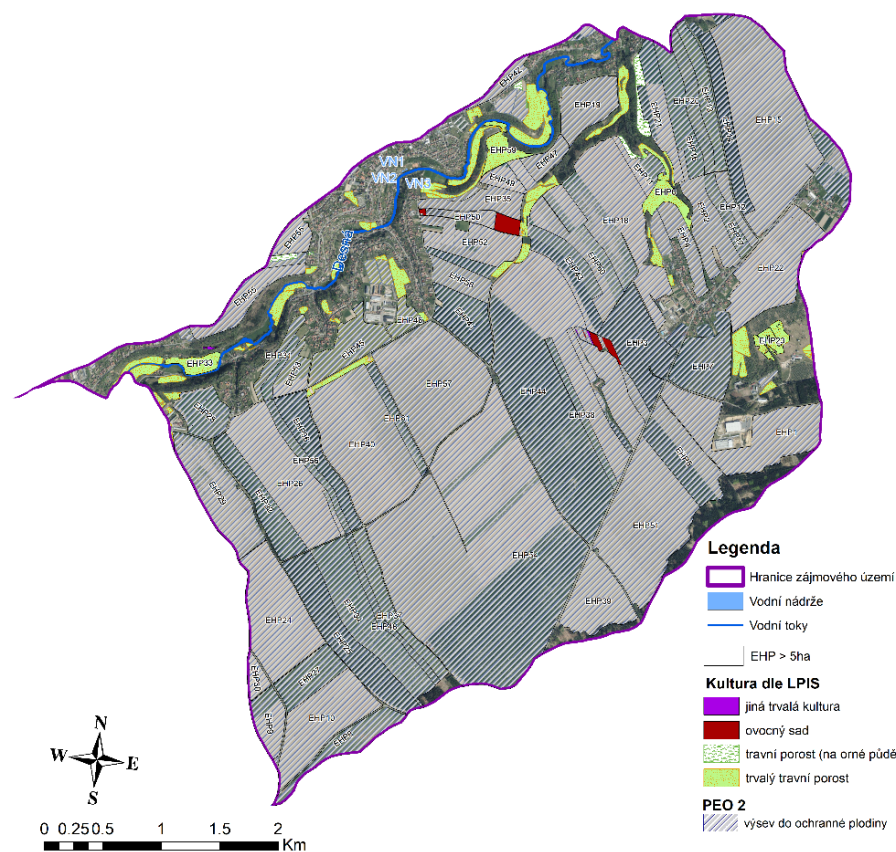


Obrázek 25. Kukuřice setá do ochranné plodiny [30]

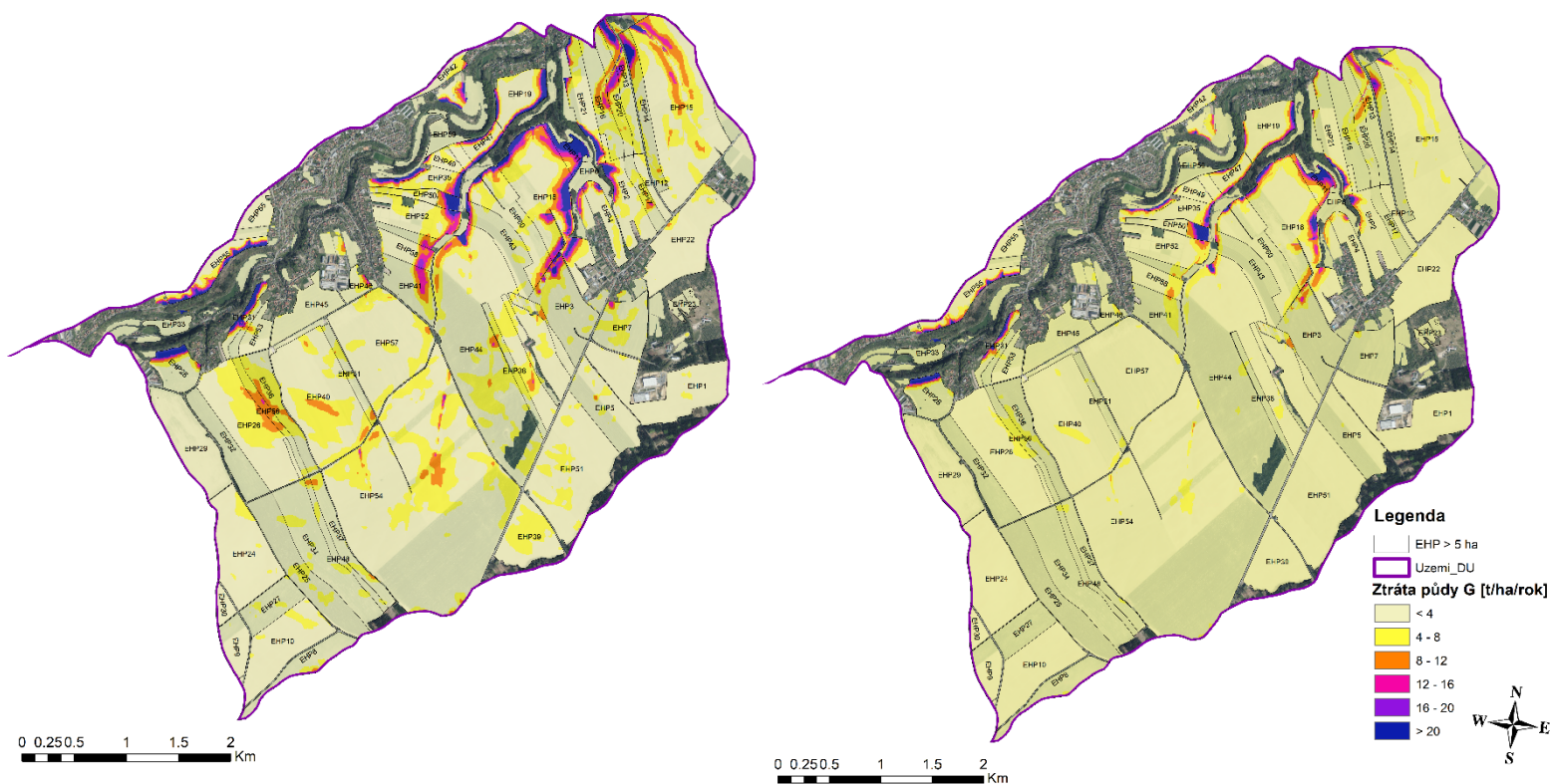


Obrázek 26. Setí kukuřice do ochranné plodiny [30]

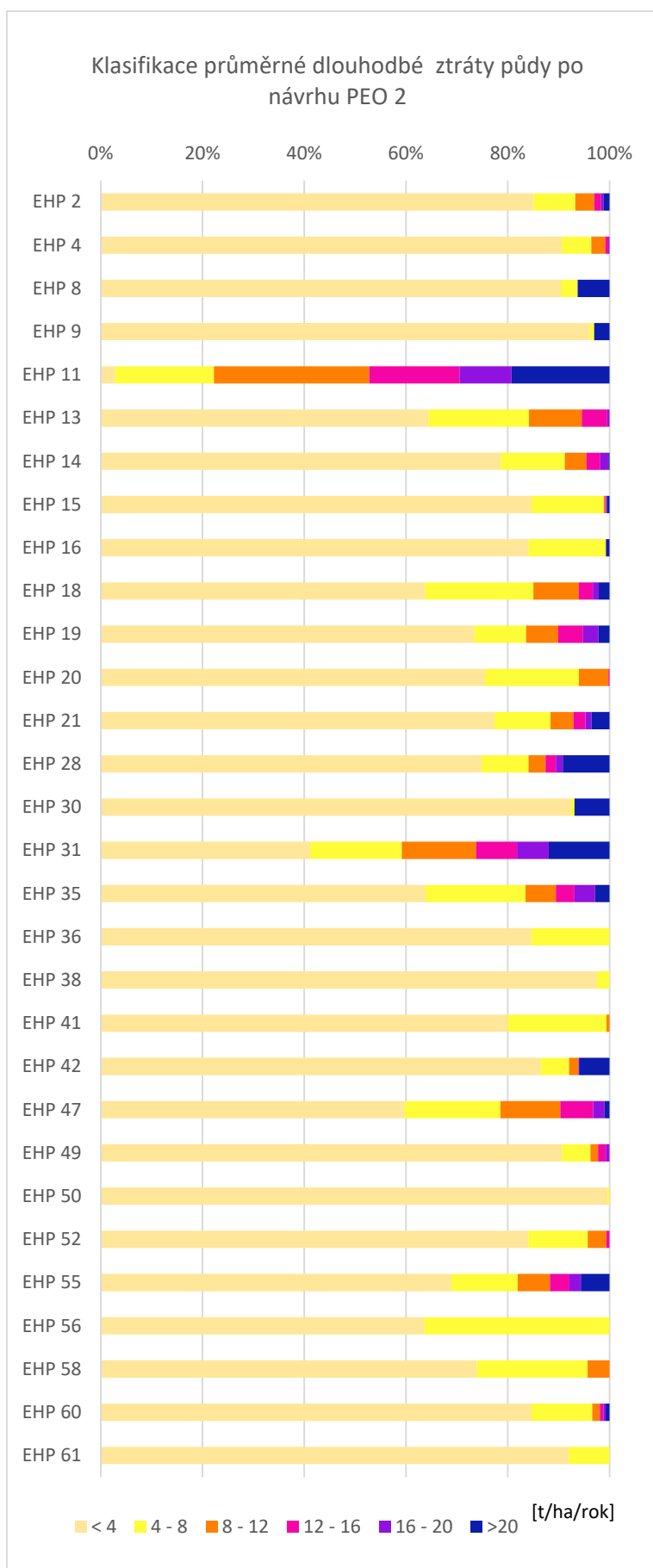
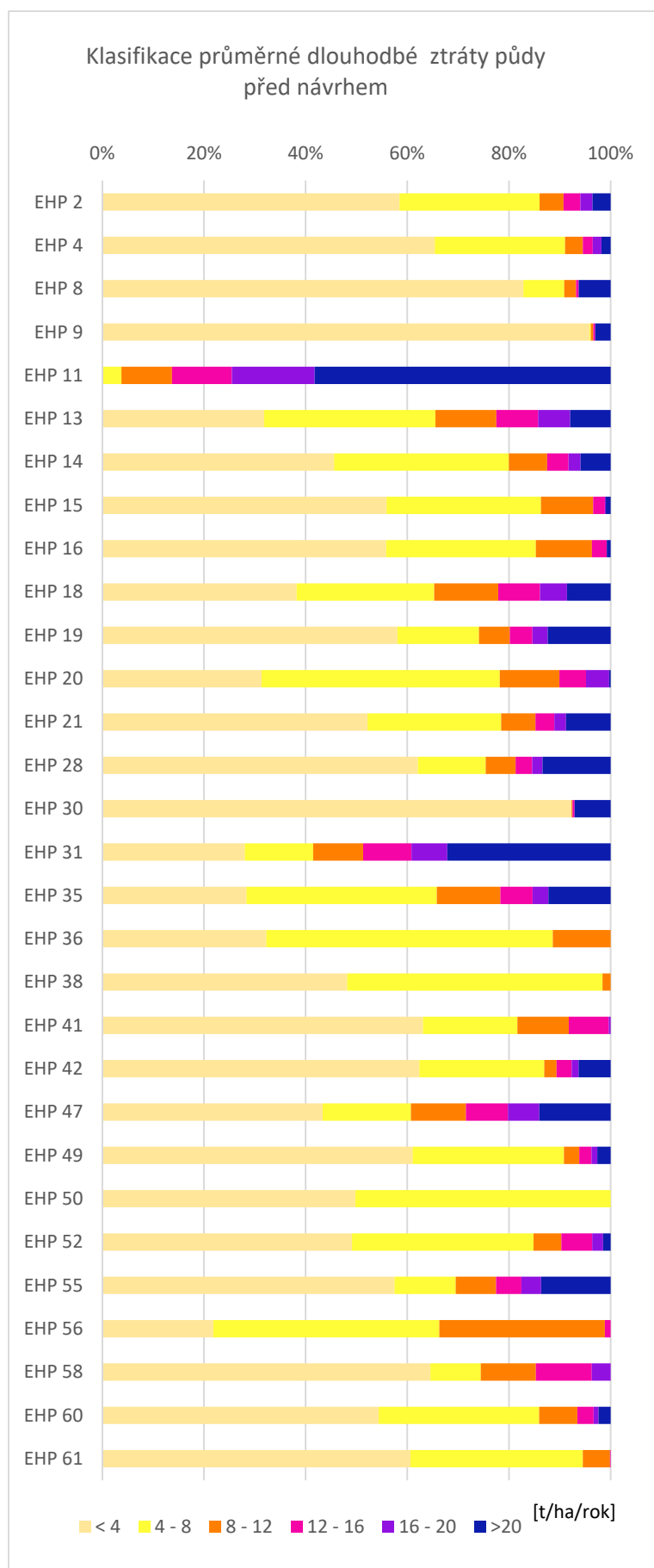




Obrázek 27. Návrh PEO 2



Obrázek 28. Porovnání ztráty půdy před a po návrhu PEO 2



Graf 4. Klasifikace ztráty půdy před a po návrhu PEO 2

### Technická opatření doplněná organizačním opatřením – PEO 3

K návrhu technických opatření v krajině se obvykle přistupuje až po vyčerpání možností řešení organizačními a agrotechnickými opatřeními. Technická opatření je vhodné navrhnout zejména tam, kde dochází k povrchovému odtoku, který ohrožuje intravilán obcí. Protierozní účinnost technických opatření lze zvýšit v kombinaci s opatřeními organizačními a agrotechnickými.

Technickými opatřeními liniového charakteru dojde k přerušení volné délky pozemku, tedy ke snížení hodnoty faktoru L, a neškodnému odvedení povrchového odtoku. K liniovým prvkům řadíme příkopy, průlehy a protierozní meze. Tyto prvky dále usměrňují směr obdělávání a hospodaření na daném pozemku a doprovodná zeleň těchto prvků působí příznivě z hlediska estetického a ekologického. Do vymezených pásů těchto prvků lze umístit erozně méně náchylné kultury (travní porost), čímž dojde ke snížení hodnoty faktoru C a také průměrné hodnoty čísla CN.

Technická opatření lze také využít k zachycení, zadržení a neškodnému odvedení povrchového odtoku a splavenin (hrázky, sedimentační, retenční a suché nádrže) a ke změně sklonu pozemku (terasy, terénní urovnávky) [14] [31].

V zájmové lokalitě bylo navrženo několik svodných průlehů, stabilizovaných drah soustředěného odtoku (SDSO) a dvě ochranné nádrže. Dále jsou tato technická opatření doplněna organizačními – osevním postupem. Použit byl osevní postup popsán výše v kapitole organizačních opatřeních. Osevní postupy jsou aplikovány na veškeré orné půdě a díky nim dojde ke snížení C faktoru na hodnotu 0,08. Pro kombinaci těchto opatření byla zvolena hodnota P faktoru 0,8.

#### Protierozní průlehy

Průlehy jsou liniové prvky, jejichž hlavní funkcí je přerušení délky svahu, zachycení a neškodné odvedení či zasáknutí vody. Jedná se o obdobu příkopu, s odlišností ve tvaru příčného profilu. Průleh je mělký, s mírnějším sklonem svahů (obvykle 1:10) a je veden v malém podélném sklonu. Z hlediska uspořádání lze průlehy dělit na odváděcí (záchytné, sběrné a svodné) a na retenční (vsakovací). Odváděcí průlehy jsou vedeny s minimálním podélným sklonem a slouží k zachycení povrchového odtoku a odvádění vody z ohrožené lokality, přičemž dochází také k částečné infiltraci vody do půdy. Vsakovací průleh je veden vrstevnicově a, jak již napovídá název, plní pouze funkci vsakovací. Dimenzování vsakovacího průlehu je poměrně rizikové, protože při překročení kapacity může dojít k přelití a soustředění odtoku do míst pod průlehem [31].

Žádoucím doplňkem průlehů je pás trvalého travního drnu nad průlehem v minimální šířce 5 m. Pás slouží k zachycení splavenin, co nejbližší místu vzniku, a eliminaci jejich vnikání do hydrografické sítě. Vhodná je i výsadba vegetace podél průlehu. Kapacitu průlehu lze navýšit vybudováním zemní hrázky [31].

- Navrženy tři záchytné průlehy (ZP) a jeden vsakovací průleh (VP)
- R faktor: nedojde ke změně
- K faktor: nedojde ke změně
- LS faktor: vygenerován nový, průlehy přerušují délku svahu
- C faktor: 0,005



Tabulka 18. Parametry navržených průlehů

označení	délka [m]	šířka [m]	plocha [ha]
ZP1	1264	10	1.26
ZP2	2062	10	2.06
ZP3	1503	10	1.50
VP1	620	10	0.62
Celkem	5449	-	5.45

#### Stabilizované dráhy soustředěného odtoku (SDSO)

Dráhy soustředěného odtoku se vyskytují zejména v úžlabinách a údolnicích. Při přívalových deštích nebo jarním tání dochází ke stékání povrchového odtoku do těchto míst, kde dojde k akumulaci vody a následnému zvýšenému eroznímu účinku, což může být důvodem pro vznik erozních rýh. Dráhy je tedy vhodné chránit stabilizací zatravněním [14].

V některých případech nemusí být přirozený příčný profil vyhovující, proto je třeba ho technickými zásahy upravit. Ideální tvar příčného profilu je parabola s malou hloubkou. Tento tvar se nejvíce podobá přirozeným vodním cestám, snižuje pravděpodobnost meandrování a eroze dráhy a v neposlední řadě je nejsnáze realizovatelný dostupnou technikou. Stabilizací drah soustředěného odtoku dojde ke zvýšení schopnosti odvést povrchový odtok bez projevů eroze a také částečné infiltraci vody do půdy. Travní drn by měl být udržován a pravidelně sečen. [14] [26].

Problémovým místem SDSO je hranice mezi ornou půdou a travním drnem. V tomto místě může orbou snadno vznikat podélná brázda či hrázka, která brání přítoku do stabilizované údolnice a vytváří privilegované dráhy soustředěného odtoku po nechráněném povrchu podél údolnice. Z tohoto důvodu je třeba tomuto místu věnovat zvýšenou pozornost. Doporučená je orba kolmo na SDSO [26].

SDSO byly identifikovány na základě hydrologicky korektního DMT s využitím nástrojů *Flow direction* a *Flow accumulation* (viz. kapitola 4.1.2), čímž došlo k vygenerování drah soustředěného odtoku. Bylo uvažováno se sběrnou plochou drah 5 ha. Po identifikaci a vyhodnocení byly některé dráhy soustředěného odtoku navrženy ke stabilizaci. Navrženy byly SDSO o šířce 20 m.

- Navrženo celkem osm stabilizovaných drah soustředěného odtoku
- R faktor: nedojde ke změně
- K faktor: nedojde ke změně
- LS faktor: nedojde ke změně
- C faktor: 0,005

Tabulka 19. Parametry navržených SDSO

označení	délka [m]	šířka [m]	plocha [ha]
SDSO1	503	20	1.01
SDSO2	867	20	1.73
SDSO3	2605	20	5.21
SDSO4	529	20	1.06
SDSO5	765	20	1.53
SDSO6	655	20	1.31
SDSO7	734	20	1.47
SDSO8	1088	20	2.18
Celkem	7746	-	15.49

#### Ochranné nádrže

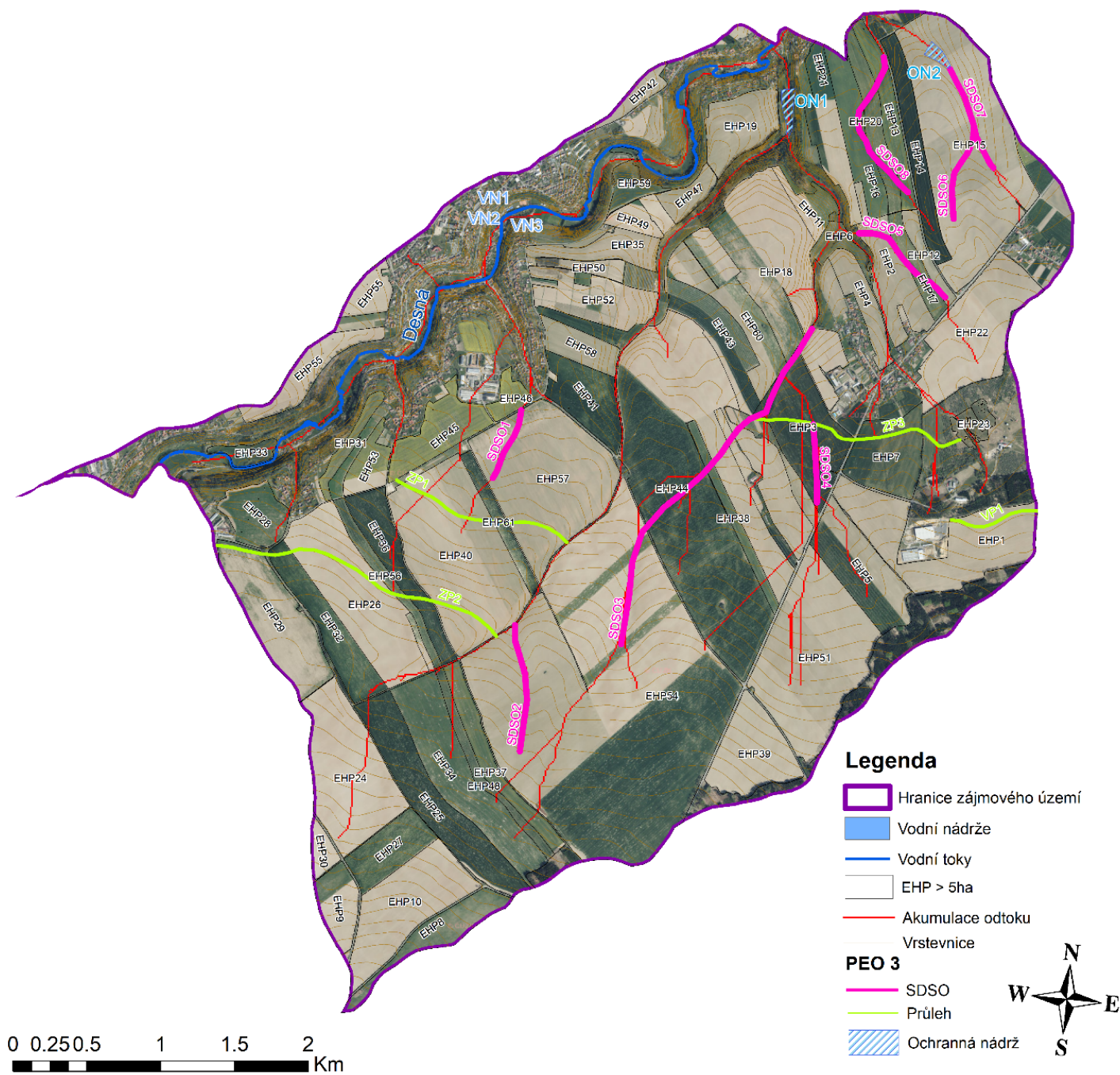
Jedná se o nejvyšší formu ochrany intravilánu a infrastruktury. Hlavními funkcemi těchto nádrží je retence, retardace, akumulace, infiltrace povrchového odtoku (transformace povodňové vlny) a zachycení smyté zeminy. Nádrže se nejčastěji navrhují suché, bez trvalého nadržení vody. Důvodem je možnost využití zátopy k zemědělským účelům [14] [26]

Vymezení a plošný rozsah navržených nádrží jsou pro potřebu této práce pouze orientační. Návrh ochranné nádrže musí vycházet z podrobného posouzení geomorfologických, geologických a hydrologických poměrů tak, aby byl vytvořen dostatečný akumulační prostor a došlo ke vhodnému umístění hráze [14].

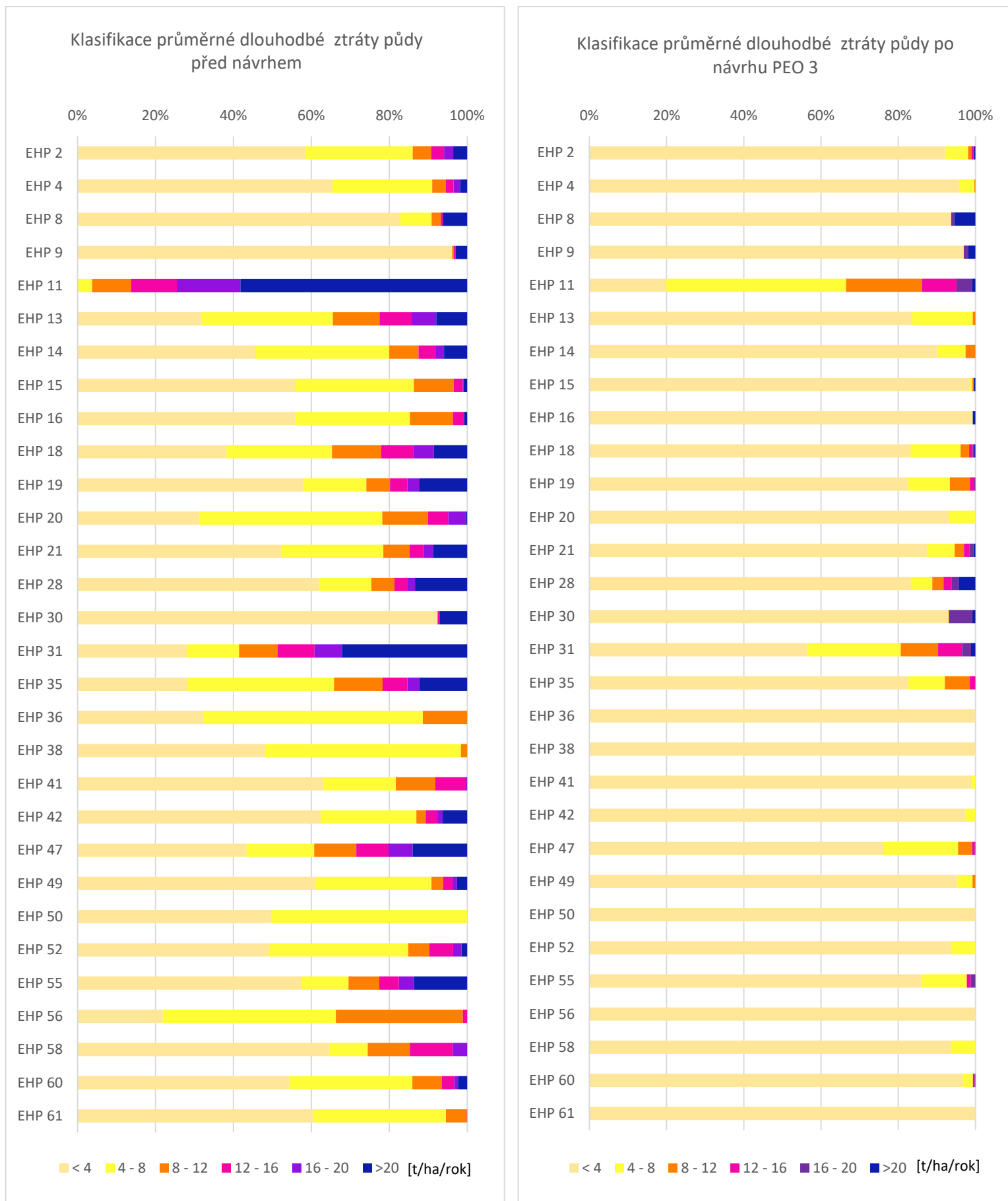
V zájmovém území byly vymezeny dvě ochranné nádrže.

Ochranná nádrž ON1 slouží k zachycení povrchové vody, která je do nádrže sváděna z navržených záchytných průlehů a SDSO, současným systémem svodných příkopů podél polních cest a již stabilizovaných údolnic. Další funkcí nádrže je zachycení splavenin a ochrana zastavěné části obce Osík před vnikem povodňové vlny.

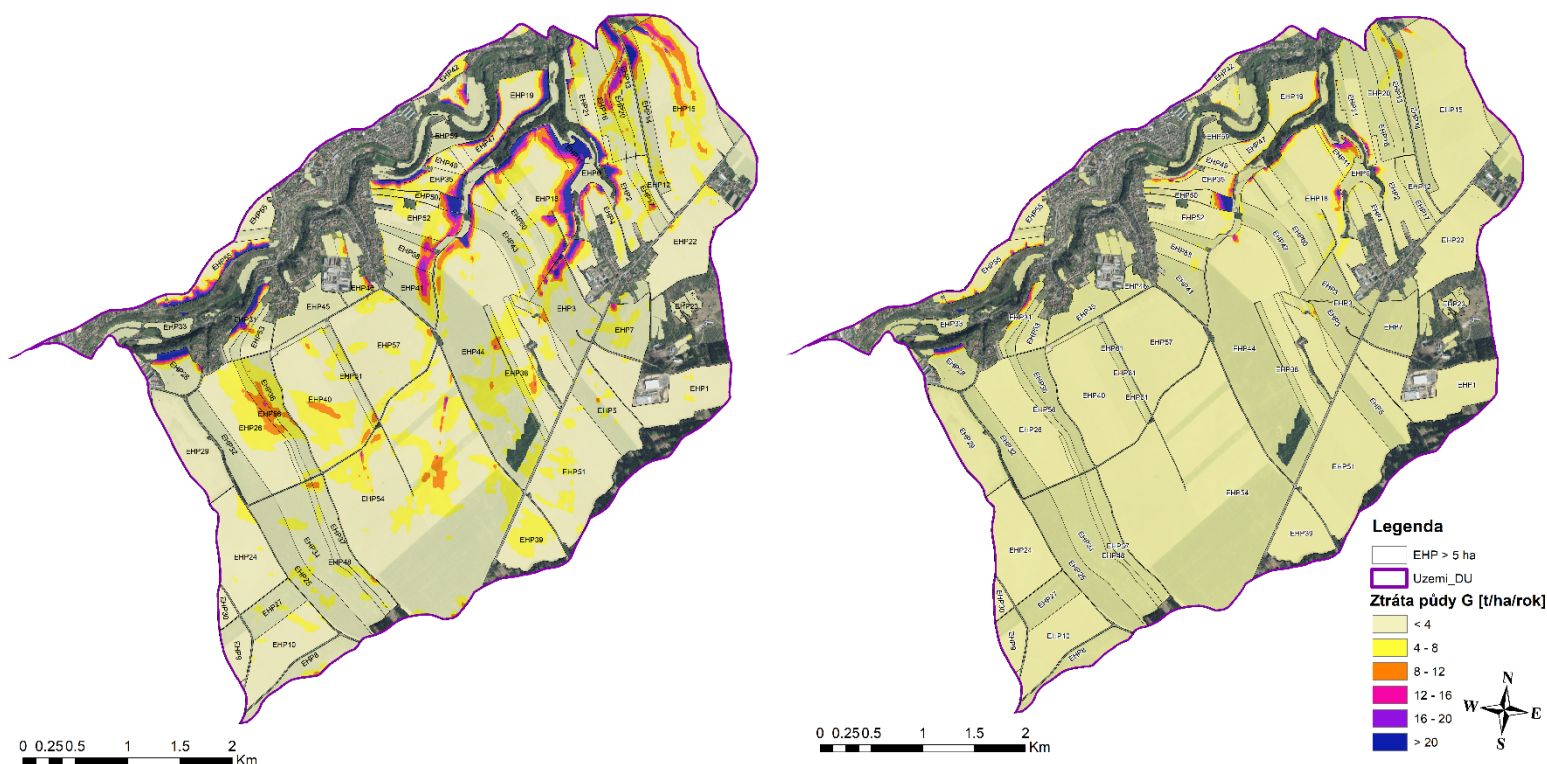
Funkcí ochranné nádrže ON2 je akumulovat povrchový odtok a splaveniny z KP2 a chránit zastavěné části obce Osík před vnikem povodňové vlny.



Obrázek 29. Návrh PEO 3



Graf 5. Klasifikace ztráty půdy před a po návrhu PEO 3



Obrázek 30. Porovnání ztráty půdy před a po návrhu PEO 3

#### 4.1.3 Dopad změny klimatu na erozní poměry – ZK

V současnosti je změna klimatu velmi ožehavým a diskutovaným tématem a zasahuje mnoho odvětví a profesí. Tato změna je nejvíce skloňována s patrným růstem teplot, obzvláště v posledních pěti letech, kdy docházelo k přepisování maximálních hodnot. Výjimkou není ani dopad změny klimatu na procesy spjaté s erozí půdy. Zejména se jedná o změny v množství a intenzitě srážek, teplot, produkce rostlinné biomasy a evapotranspirace. Dochází také ke změně využívání půdy přizpůsobené novému klimatickému režimu a výskytu dlouhodobého sucha [32].

K nejvýznamnějším dopadům změny klimatu na zemědělství a erozi půdy patří změna rozložení srážek. Problém nastává zejména v letních měsících, kdy je dlouhé období sucha přerušeno intenzivními přivalovými dešti, které zapříčiňují vznik povrchového odtoku a s tím spjatou erozi půdy [32].

Dalším významným dopadem klimatické změny je výskyt period sucha, způsobujících nedostatek vody v půdě. To má za důsledek zejména snížení vláhy pro rostliny, které jsou stresovány a uvadají. Dále také negativně ovlivňují půdní živočichy, jejichž redukce či dokonce absence mohou mít fatální následky pro schopnost půdy zadržovat vodu a živiny, rozkládat organickou hmotu, vytvářet prostředí pro růst rostlin či odolávat erozním jevům. K negativním vlivům je dále třeba přičíst snižování organické hmoty v půdě, což má za následek vyšší náchylnost k salinizaci a alkalizaci. Výskyt dlouhodobého sucha vyvolává i změnu fyzikálních vlastností půdy, které vedou k utužování a ztvrdnutí půdních vrstev (vznik povrchových trhlin). Tento jev v kombinaci s přivalovými dešti způsobuje nedostatečný vsak a transformaci dešťové srážky na povrchový odtok, který má degradační účinky na půdu a ohrožuje zastavěné území [33].

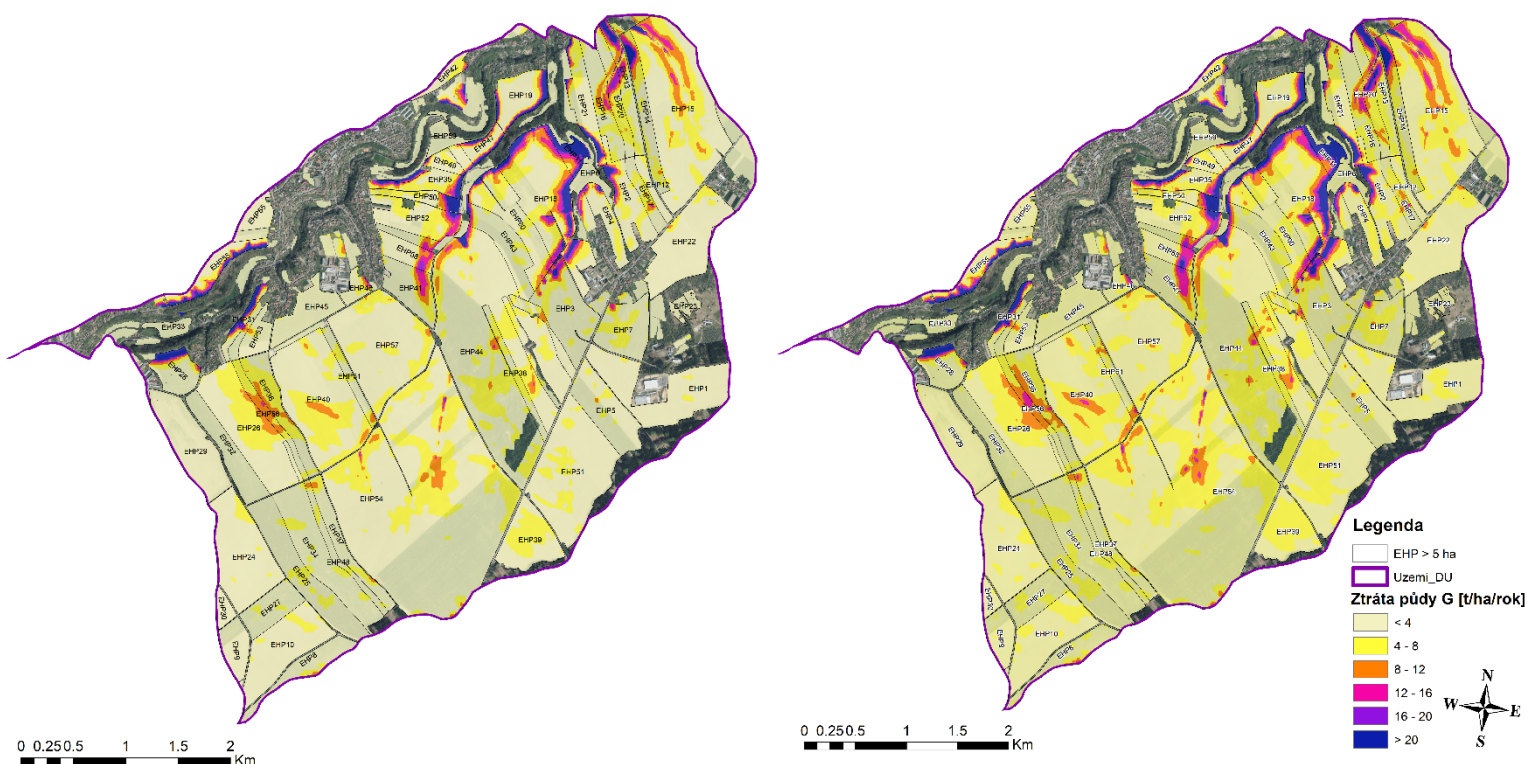
Změna klimatu ovlivňuje i větrnou erozi, která je významná zejména na písčitéch a organických půdách, které jsou vystaveny nízkému obsahu vlhkosti a vysokým nárazům větru. Vzrůstající teploty ovlivní intenzitu výparu, čímž dojde ke snížení vlhkosti půd a větší náchylnosti



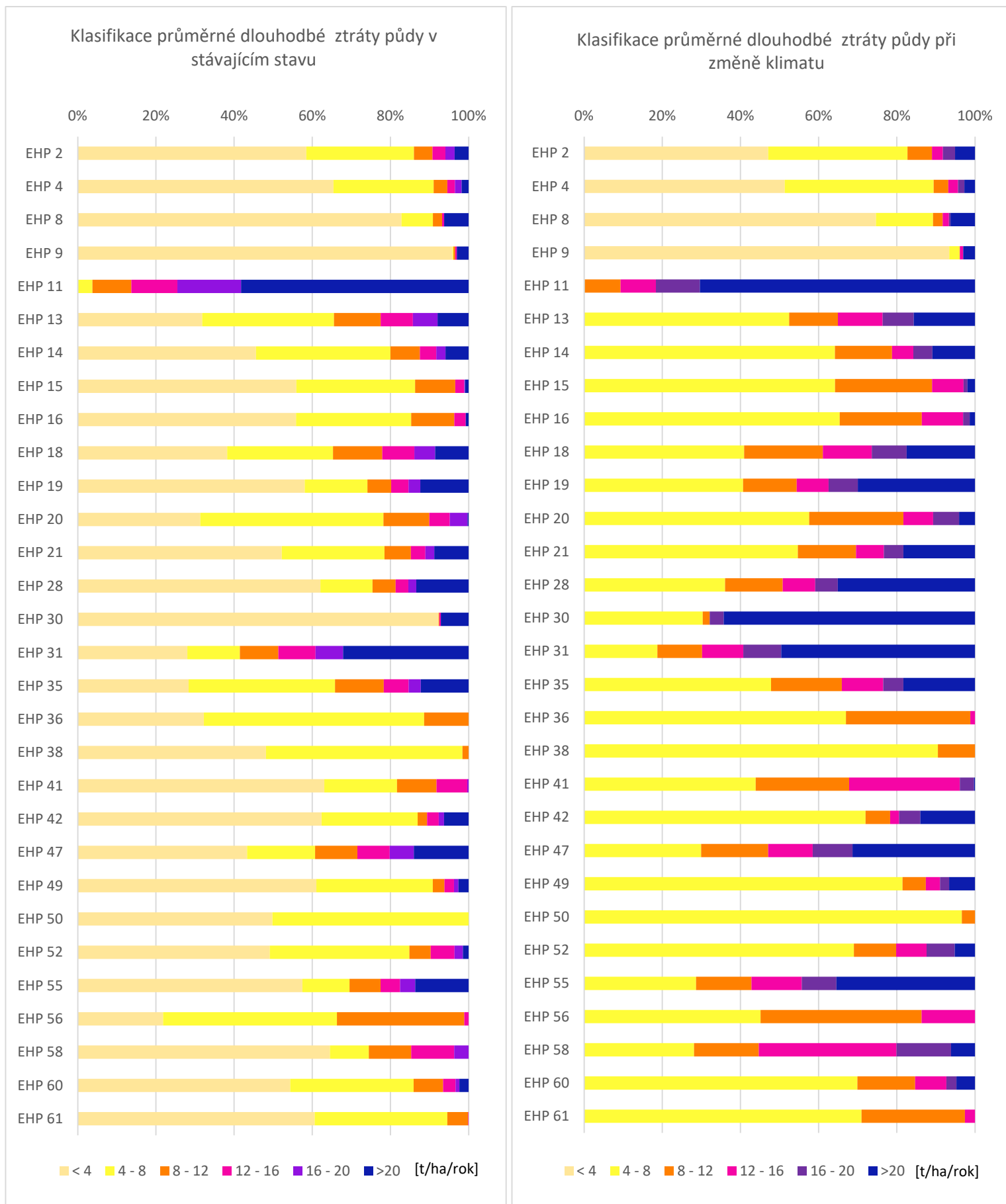
k větrné erozi. Důsledkem větrné eroze je zvýšení šterkovitosti půdy, ztráta živin, humusu a osiva a poškození pěstovaných plodin. Dalšími negativními jevy spjatými s tímto problémem je zanášení příkopů, komunikací a vdechování jemných půdních částic, které mohou obsahovat i zbytky agrochemikálií, člověkem a živočichy [32] [14].

Zlepšení této situace lze dosáhnout pouze razantními zásahy, tedy zodpovědnou klimatickou politikou, jejímiž nástroji jsou redukce emisí, adaptace krajiny a její ozdravení. Podstatným problémem v adaptaci krajiny a aplikaci ochranných opatření je rozsáhlý pronájem půdních ploch v Česku. Na třech čtvrtinách půdy hospodaří ti, kterým nepatří, a vlastníci pozemků často ani nevědí, kde přesně jejich pozemky leží a jak se na nich hospodaří. Zejména u pachtýřů s krátkodobými pachtmi, kteří na pronajaté ploše podnikají s výhledem, že pozemek může být v dohledné době prodán, směněn či pachtýř bude vypovězen z nájmu, je nepravděpodobné, že se budou snažit realizovat organizačně i finančně náročná opatření k ochraně půdy a vody [34].

V rámci této práce byla klimatická změna charakterizována změnou R faktoru v rovnici USLE. Původní R faktor byl navýšen o 17 %. Toto číslo vychází z nově provedené *Studie klimatických charakteristik pro účely dimenzování prvků PSZ a posouzení dokumentací pro realizaci vodohospodářských staveb*, jejímž zadavatelem byl Státní pozemkový úřad [35].



Obrázek 31. Porovnání ztráty půdy v stávajícím stavu a při změně klimatu



Graf 6. Klasifikace ztráty půdy v stávajícím stavu a při změně klimatu



#### 4.1.4 Vyhodnocení erozních poměrů

Jak je patrné z tabulky 20, nejlépe se z hlediska erozních poměrů jeví varianta PEO 3, kde došlo k návrhu technických prvků v kombinaci s organizačním opatřením – protierozním osevním postupem. Samostatná technická opatření jsou z hlediska plošné eroze nedostačující úpravou. Jejich účelem je zachytit a odvést soustředěný povrchový odtok a ochránit zastavěné území, proto byla doplněna osevním postupem, který snižuje projevy plošné eroze. Ve variantě PEO 3 došlo téměř na všech EHP k poklesu průměrné ztráty půdy pod přípustnou hodnotu  $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ .

Varianta klimatické změny byla zvolena z důvodu varování před dopady, které tato změna může mít na erozi půdy a zemědělství obecně. S postupnou změnou klimatu bude potřeba realizace protierozních opatření a ochrana zastavěného území před povrchovým odtokem nabývat na důležitosti.

Tabulka 20. Posouzení průměrné ztráty půdy na 30 vybraných EHP

EHP	Plocha [ha]	Průměrná ztráta půdy G				
		Před [t/ha/rok]	PEO 1 [t/ha/rok]	PEO 2 [t/ha/rok]	PEO 3 [t/ha/rok]	ZK [t/ha/rok]
EHP 2	21.55	5.68	1.59	2.97	1.59	6.64
EHP 4	11.75	4.25	1.19	2.22	1.19	4.97
EHP 8	17.47	12.69	3.55	6.65	3.55	14.84
EHP 9	12.63	4.94	1.38	2.59	1.38	5.78
EHP 11	7.71	26.31	7.35	13.79	7.30	30.78
EHP 13	14.44	8.19	2.29	4.29	2.16	9.58
EHP 14	17.53	6.41	1.79	3.36	1.79	7.50
EHP 15	97.20	4.99	1.39	2.62	1.35	5.83
EHP 16	18.55	5.73	1.60	3.00	1.50	6.70
EHP 18	62.38	8.68	2.43	4.55	2.42	10.16
EHP 19	19.68	7.64	2.14	4.01	2.14	8.94
EHP 20	13.62	6.12	1.71	3.21	1.59	7.16
EHP 21	19.13	7.87	2.20	4.12	2.20	9.21
EHP 28	14.78	11.61	3.24	6.08	3.24	13.58
EHP 30	5.04	7.40	2.07	3.88	2.07	8.66
EHP 31	6.02	17.12	4.78	8.97	4.77	20.03
EHP 35	12.84	9.55	2.67	5.00	2.67	11.17
EHP 36	19.76	5.22	1.46	2.73	1.10	6.10
EHP 38	8.52	4.31	1.21	2.26	1.17	5.05
EHP 41	19.56	4.27	1.19	2.24	1.19	5.00
EHP 42	6.68	12.23	3.42	6.41	3.42	14.31
EHP 47	7.19	9.05	2.53	4.74	2.53	10.58
EHP 49	5.33	4.83	1.35	2.53	1.35	5.65
EHP 50	5.21	4.14	1.16	2.17	1.16	4.84
EHP 52	22.39	5.26	1.47	2.76	1.47	6.16
EHP 55	24.56	11.04	3.08	5.78	3.07	12.91
EHP 56	8.96	6.45	1.80	3.38	1.24	7.54
EHP 58	11.07	4.81	1.34	2.52	1.34	5.63
EHP 60	28.77	5.34	1.49	2.80	1.49	6.25
EHP 61	8.23	4.20	1.17	2.20	0.93	4.92

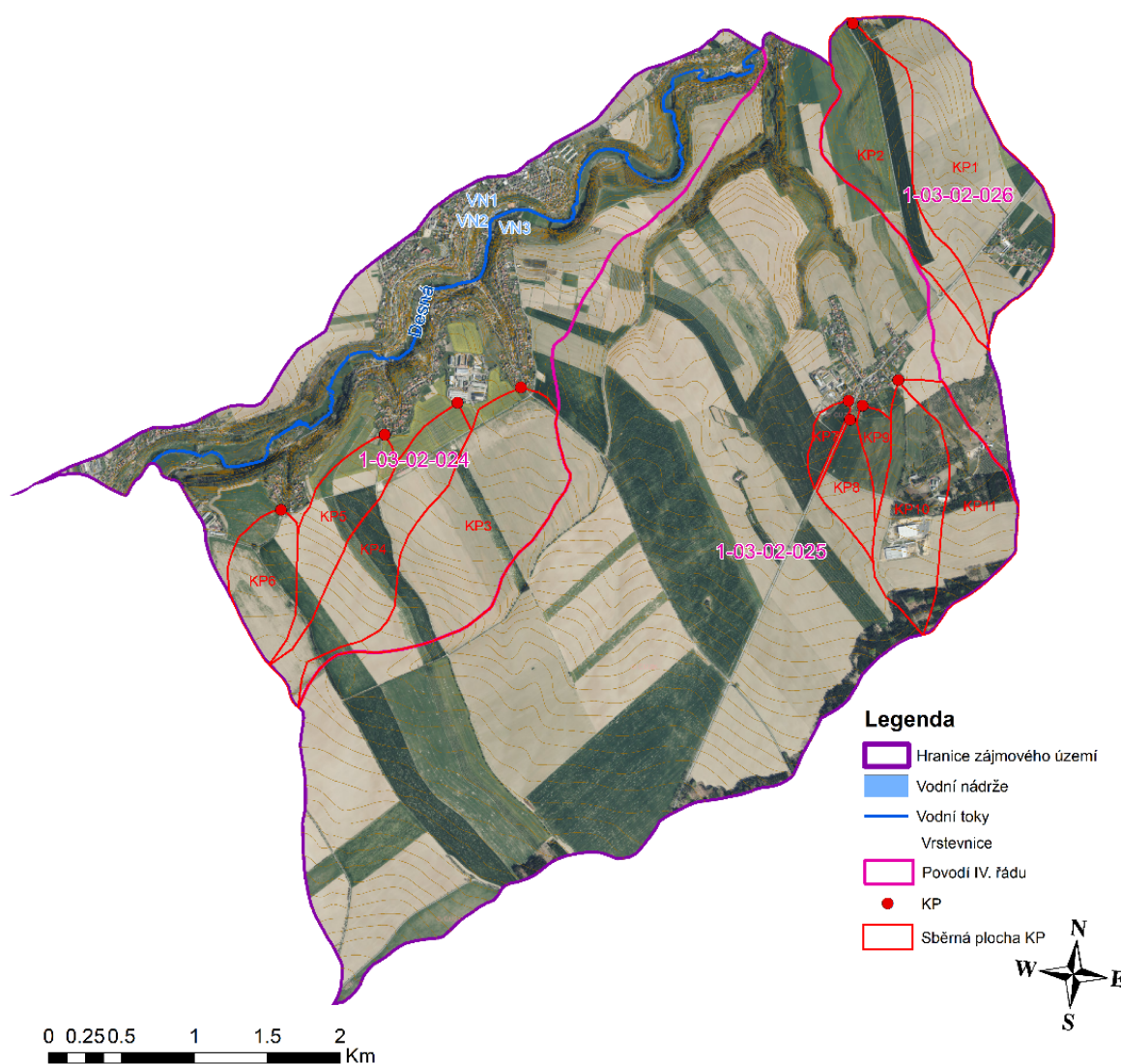
## 4.2 Rozbor odtokových poměrů a posouzení navržených opatření

V zájmovém území bylo na základě metodického návodu identifikováno a vyhodnoceno celkem 11 kritických profilů, u kterých hrozí potenciální nebezpečí vniku soustředěného povrchového odtoku do intravilánu. Identifikace kritických bodů (profilů) je podrobněji popsána v kapitole 3.6.

Následně byla pro celé zájmové území vygenerována rastrová vrstva čísel CN (viz. kapitola 3.5) a s využitím zonální statistiky stanovena hodnota průměrného čísla CN, která je vstupem pro výpočet odtokových poměrů. Údaje o srážkových úhrnech byly použity z nejbližší srážkoměrné stanice v Lubné (tabulka 21).

Pro rozbor odtokových poměrů v zájmovém území byla použita metoda čísel odtokových křivek CN v kombinaci s programem DesQ-MAXQ. Výstupem z programu jsou N-leté průtoky, objemy a hydrogramy povodňových vln.

Pro vyhodnocení navržených protierozních opatření byly úměrně sníženy hodnoty čísel odtokových křivek CN a zlepšeny drsnostní charakteristiky. Následně došlo k opětovnému výpočtu odtokových charakteristik pro každou variantu PEO a bylo zpracováno posouzení navržených opatření, oproti původnímu stavu, v podobě tabulek a hydrogramů povodně.



Obrázek 32. Mapa KP a jejich sběrných ploch (povodí)

Tabulka 21. Srážkové úhrny pro návrhovou srážku – stanice Lubná

Návrhová srážka		Srážkový úhrn	Jednotky
H <sub>1d5</sub>	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=5	51.8	[mm]
H <sub>1d10</sub>	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=10	60.7	[mm]
H <sub>1d20</sub>	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=20	70.0	[mm]
H <sub>1d50</sub>	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=50	81.4	[mm]
H <sub>1d100</sub>	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=100	90.3	[mm]

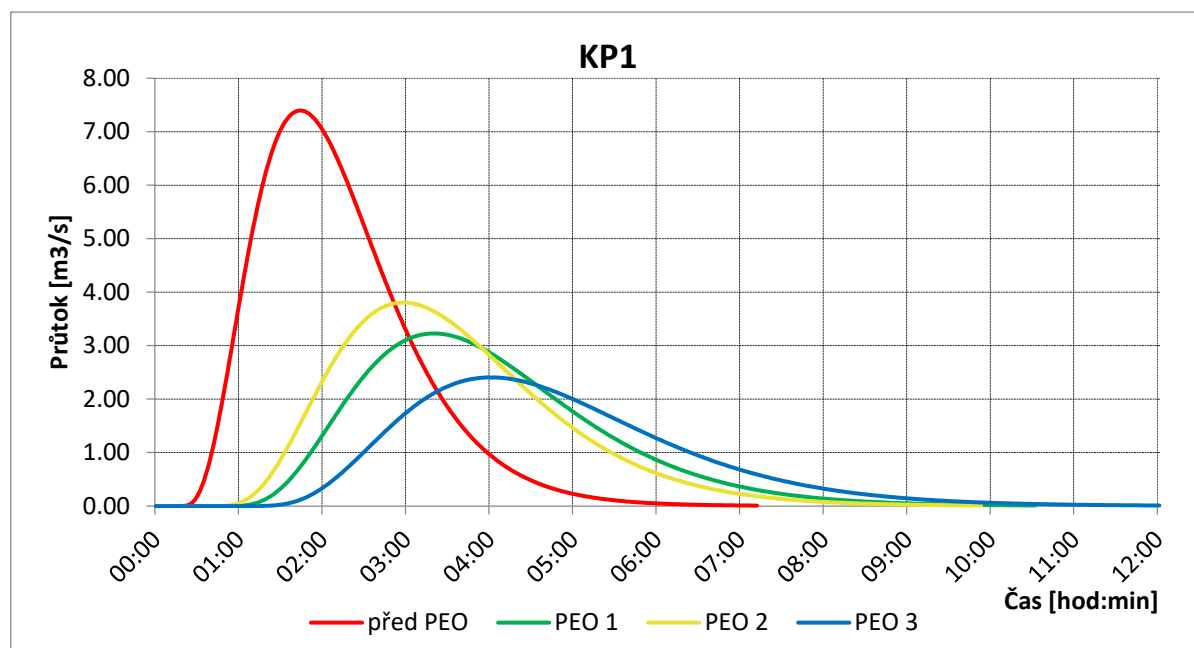
#### 4.2.1 KP1

Tabulka 22. Charakteristiky KP1

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí KP1				Jednotky
		Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
F	plocha povodí	1.26				[km <sup>2</sup> ]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	2.48				[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	2.05				[%]
I	průměrný sklon povodí	2.61				[%]
CN	průměrné číslo odtokové křivky	80.3	72.4	74.1	69.7	[...]

Tabulka 23. KP1 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO

N-leté maximální průtoky a objemy PV			Povodí KP1				Jednotky
Varianty			Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
N	doba opakování						[roky]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	7.39	3.23	3.8	2.4	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	39.7	29.4	31.9	25.3	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>1d100</sub>	54.4	37.7	41.1	32.3	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]



Graf 7. KP1 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100

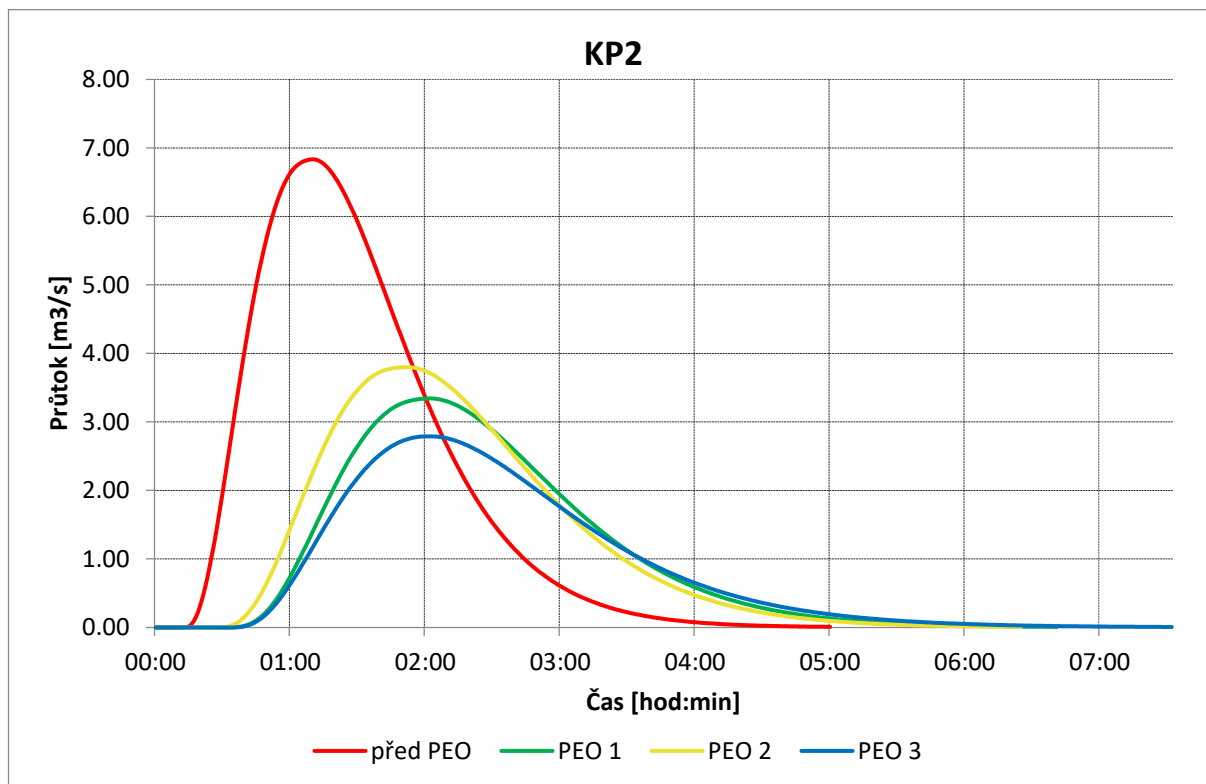
#### 4.2.2 KP2

Tabulka 24. Charakteristiky KP2

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí KP2				Jednotky
		Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
F	plocha povodí	0.8				[km <sup>2</sup> ]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	2.55				[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	2.04				[%]
I	průměrný sklon povodí	3.39				[%]
CN	průměrné číslo odtokové křivky	81.6	73.0	74.9	70.9	[...]

Tabulka 25. KP2 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO

N-leté maximální průtoky a objemy PV			Povodí KP2				Jednotky
Varianty			Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
N	doba opakování						[roky]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	6.84	3.34	3.83	2.79	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	23.4	18.2	19.5	16.0	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,ld</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>ld100</sub>	36.6	24.7	27.1	22.1	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]



Graf 8. KP2 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100

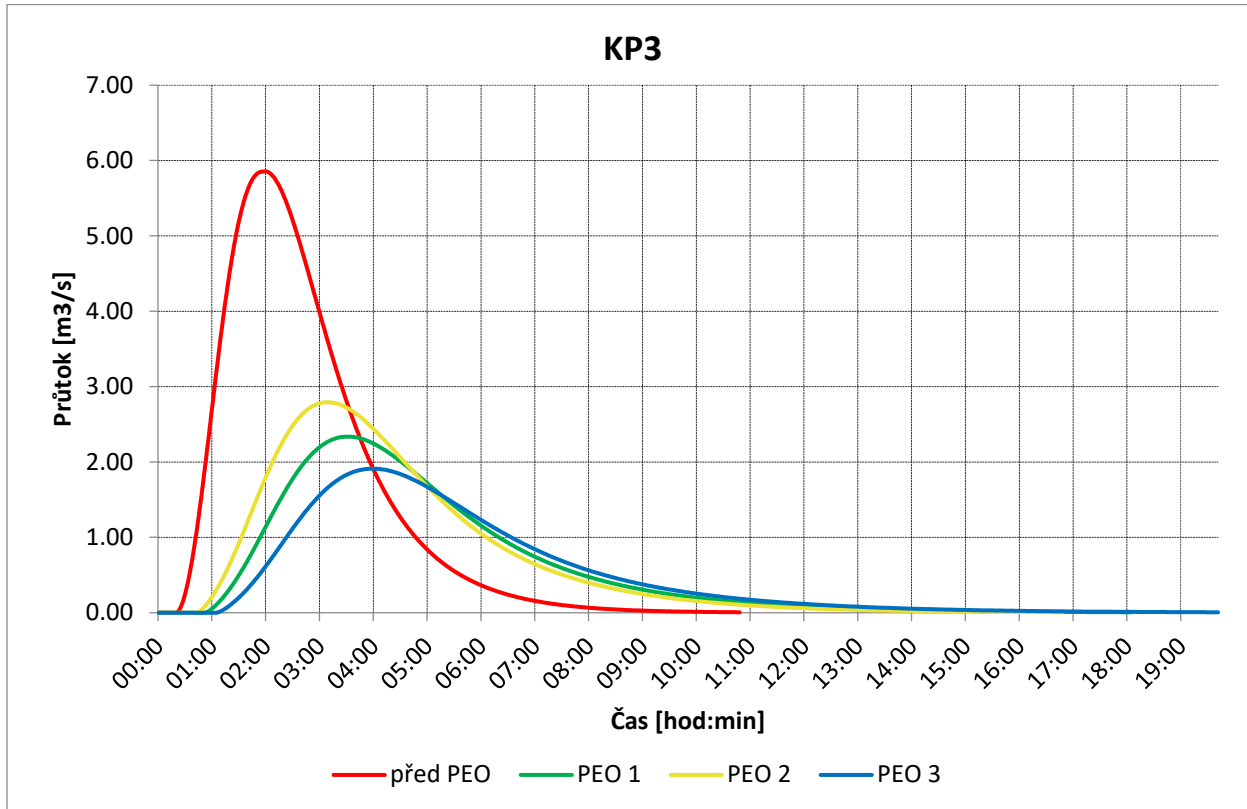
### 4.2.3 KP3

Tabulka 26. Charakteristiky KP3

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí KP3				Jednotky
		Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
F	plocha povodí	1.24				[km <sup>2</sup> ]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	1.99				[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	2.21				[%]
I	průměrný sklon povodí	2.14				[%]
CN	průměrné číslo odtokové křivky	81.3	72.5	74.5	70.5	[...]

Tabulka 27. KP3 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO

N-leté maximální průtoky a objemy PV			Povodí KP3				Jednotky
Varianty			Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
N	doba opakování						[roky]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	5.86	2.34	2.79	1.91	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	43.8	30.0	32.8	27.1	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,ld</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>ld100</sub>	56.9	38.1	41.9	34.3	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]



Graf 9. KP3 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100

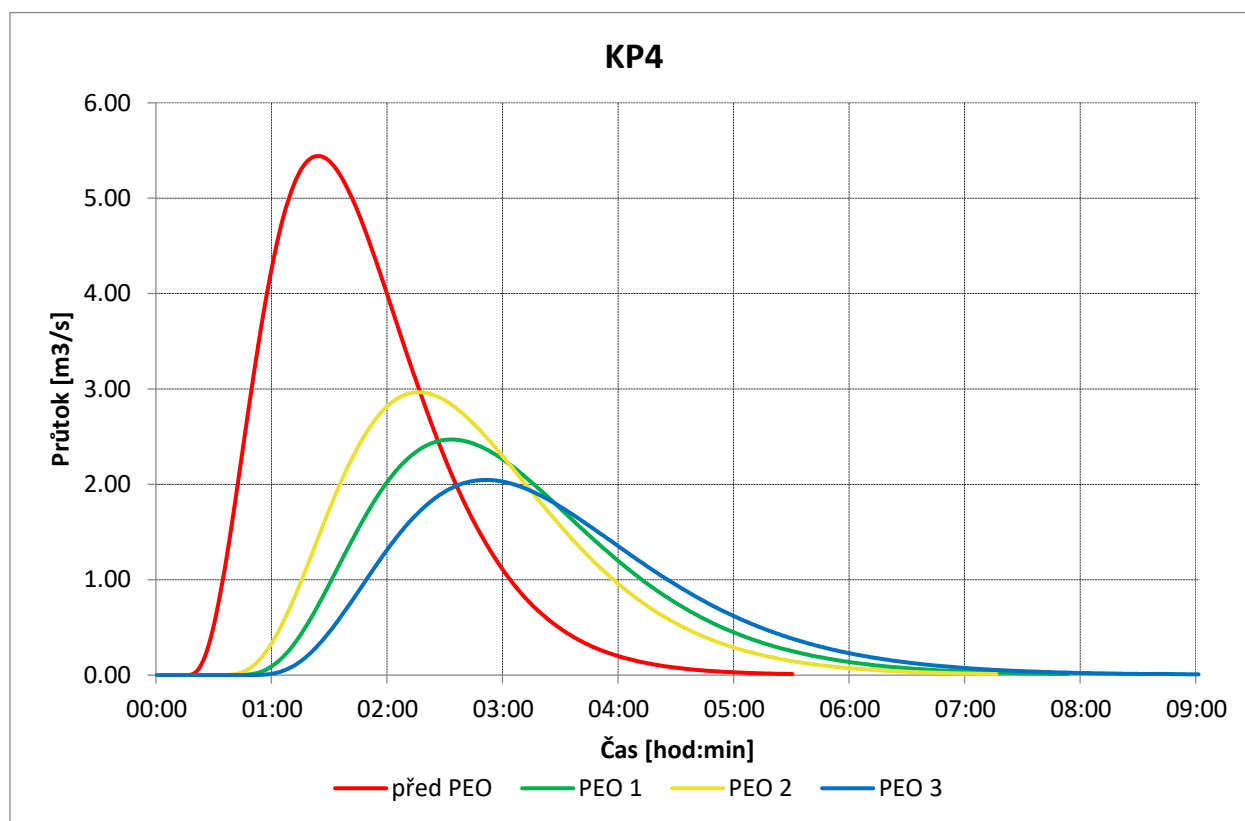
#### 4.2.4 KP4

Tabulka 28. Charakteristiky KP4

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí KP4				Jednotky
		Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
F	plocha povodí	0.74				[km <sup>2</sup> ]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	2.29				[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	1.79				[%]
I	průměrný sklon povodí	2.04				[%]
CN	průměrné číslo odtokové křivky	81.1	72.6	74.5	70.7	[...]

Tabulka 29. KP4 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO

N-leté maximální průtoky a objemy PV			Povodí KP4				Jednotky
Varianty			Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
N	doba opakování						[roky]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	5.44	2.48	2.97	2.05	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	22.5	16.9	18.5	15.3	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,ld</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>ld100</sub>	33.1	22.4	24.6	20.3	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]



Graf 10. KP4 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100

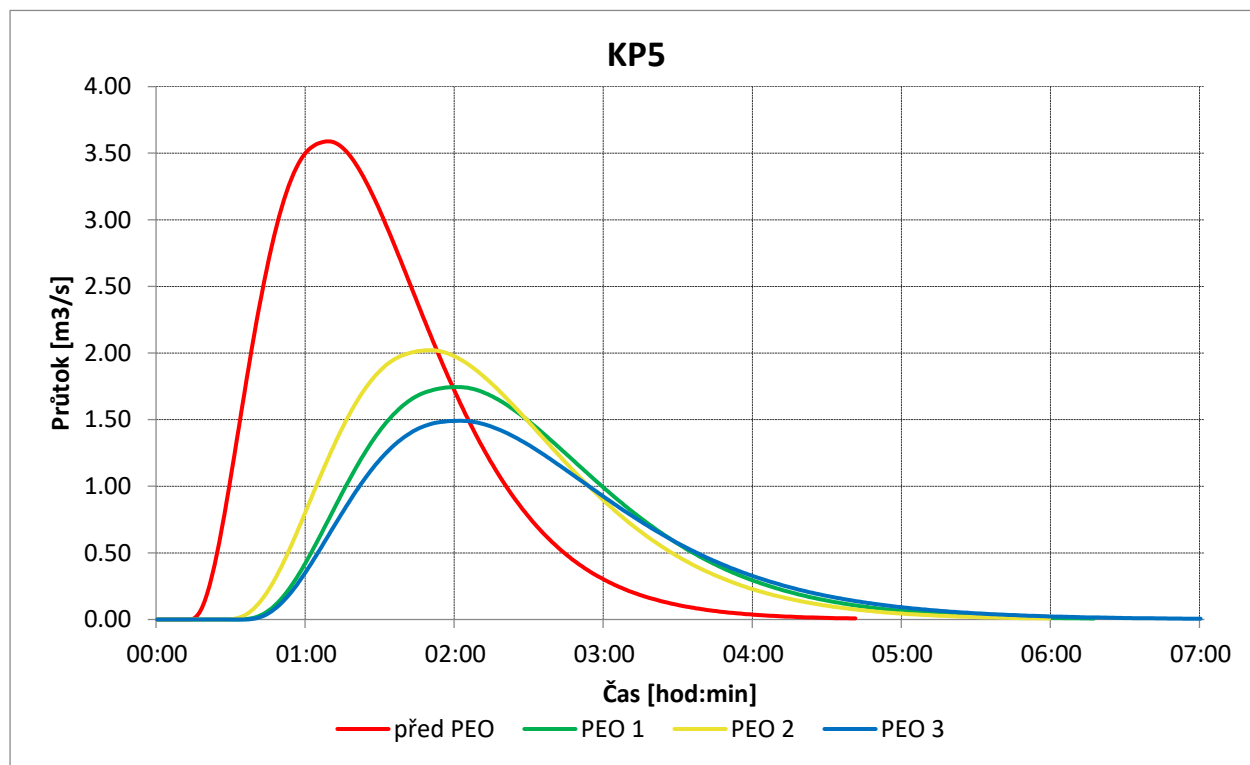
#### 4.2.5 KP5

Tabulka 30. Charakteristiky KP5

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí KP5				Jednotky
		Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
F	plocha povodí	0.42				[km <sup>2</sup> ]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	1.80				[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	1.94				[%]
I	průměrný sklon povodí	2.30				[%]
CN	průměrné číslo odtokové křivky	81.4	72.9	74.8	71.0	[...]

Tabulka 31. KP5 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO

N-leté maximální průtoky a objemy PV			Povodí KP5				Jednotky
Varianty			Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
N	doba opakování						[roky]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	3.61	1.75	2.02	1.49	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	12.1	9.42	10.1	8.47	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,ld</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>ld100</sub>	19.0	12.9	14.2	11.7	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]



Graf 11. KP5 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100



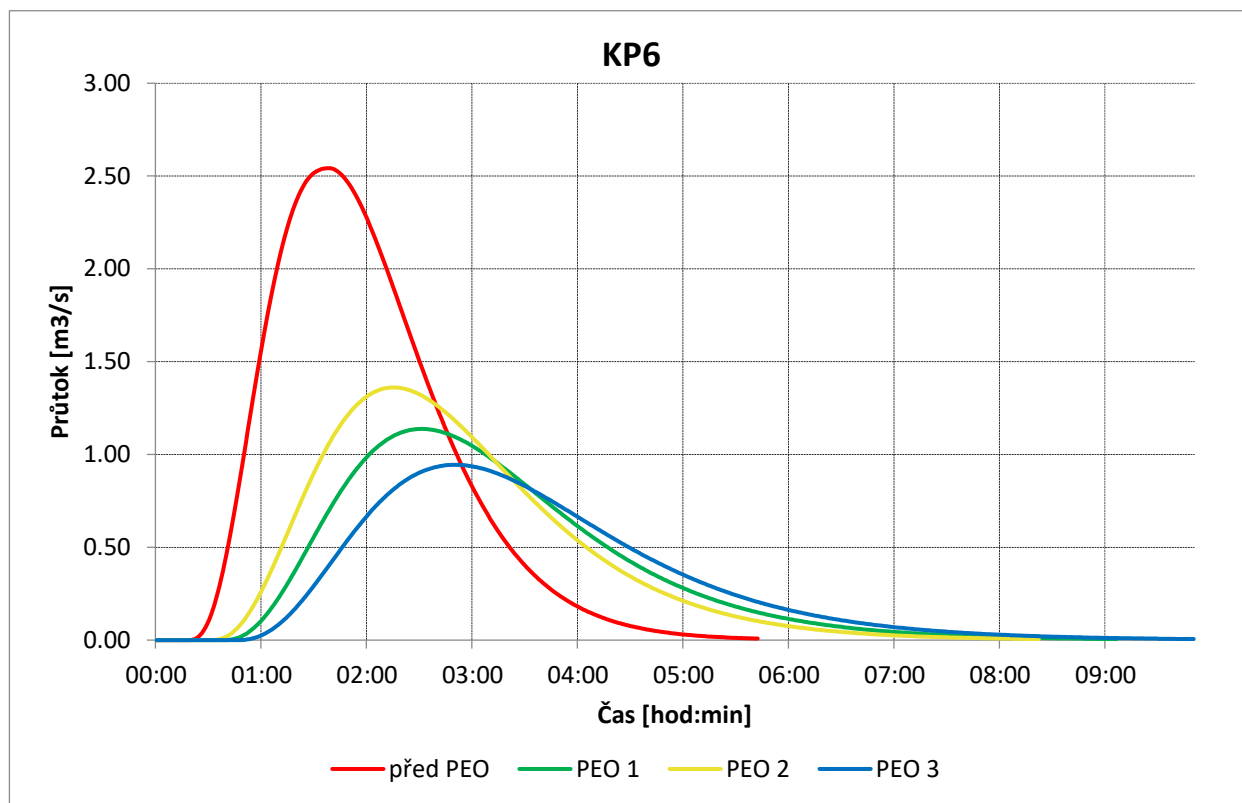
#### 4.2.6 KP6

Tabulka 32. Charakteristiky KP6

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí KP6				Jednotky
		Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
F	plocha povodí	0.37				[km <sup>2</sup> ]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	1.08				[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	1.76				[%]
I	průměrný sklon povodí	1.74				[%]
CN	průměrné číslo odtokové křivky	81.8	73.3	75.2	71.4	[...]

Tabulka 33. KP6 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO

N-leté maximální průtoky a objemy PV			Povodí KP6				Jednotky
Varianty			Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
N	doba opakování						[roky]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	2.55	1.14	1.36	0.94	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	12.4	8.76	9.59	7.98	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,ld</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>ld100</sub>	17.1	11.6	12.7	10.5	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]



Graf 12. KP6 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100

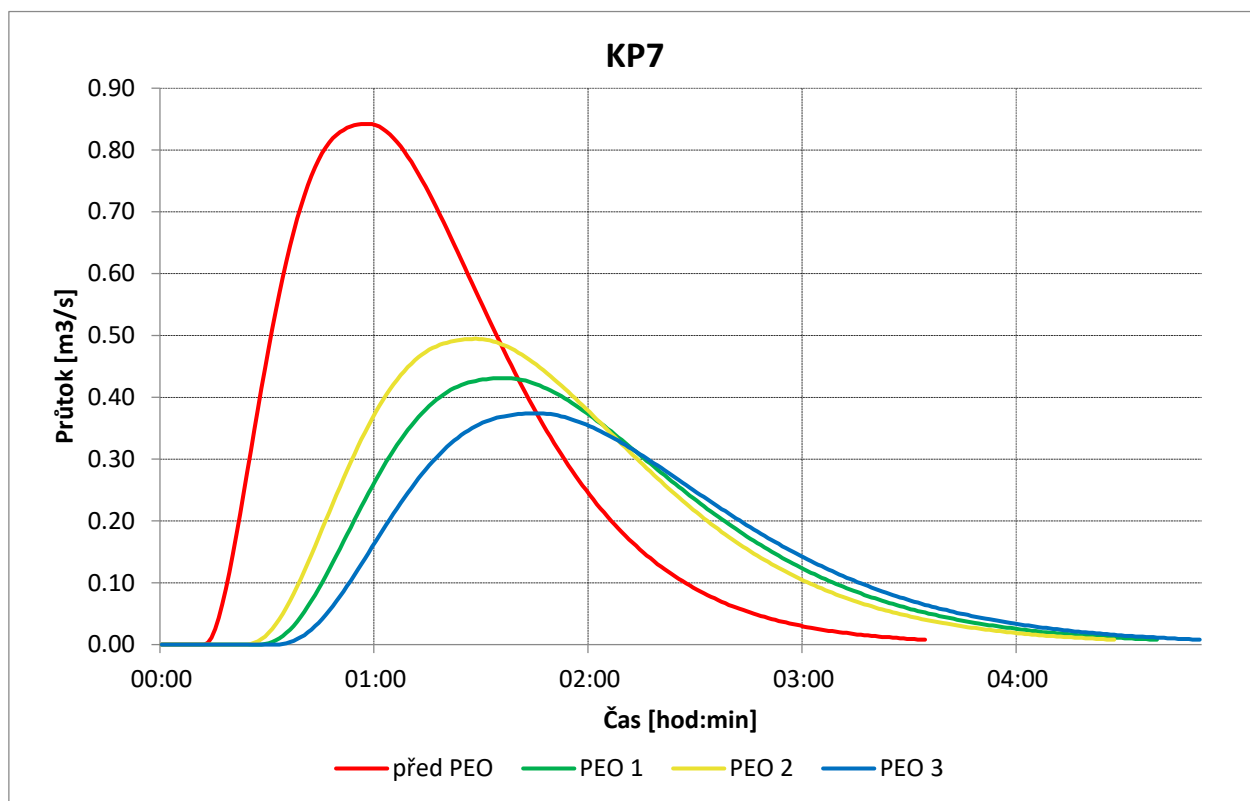
#### 4.2.7 KP7

Tabulka 34. Charakteristiky KP7

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí KP7				Jednotky
		Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
F	plocha povodí	0.09				[km <sup>2</sup> ]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	0.55				[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	1.81				[%]
I	průměrný sklon povodí	2.35				[%]
CN	průměrné číslo odtokové křivky	80.6	72.6	74.4	70.8	[...]

Tabulka 35. KP7 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO

N-leté maximální průtoky a objemy PV			Povodí KP7				Jednotky
Varianty			Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
N	doba opakování						[roky]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	0.86	0.43	0.49	0.38	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	2.32	1.8	1.93	1.67	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,ld</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>ld100</sub>	3.95	2.73	2.98	2.48	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]



Graf 13. KP7 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100

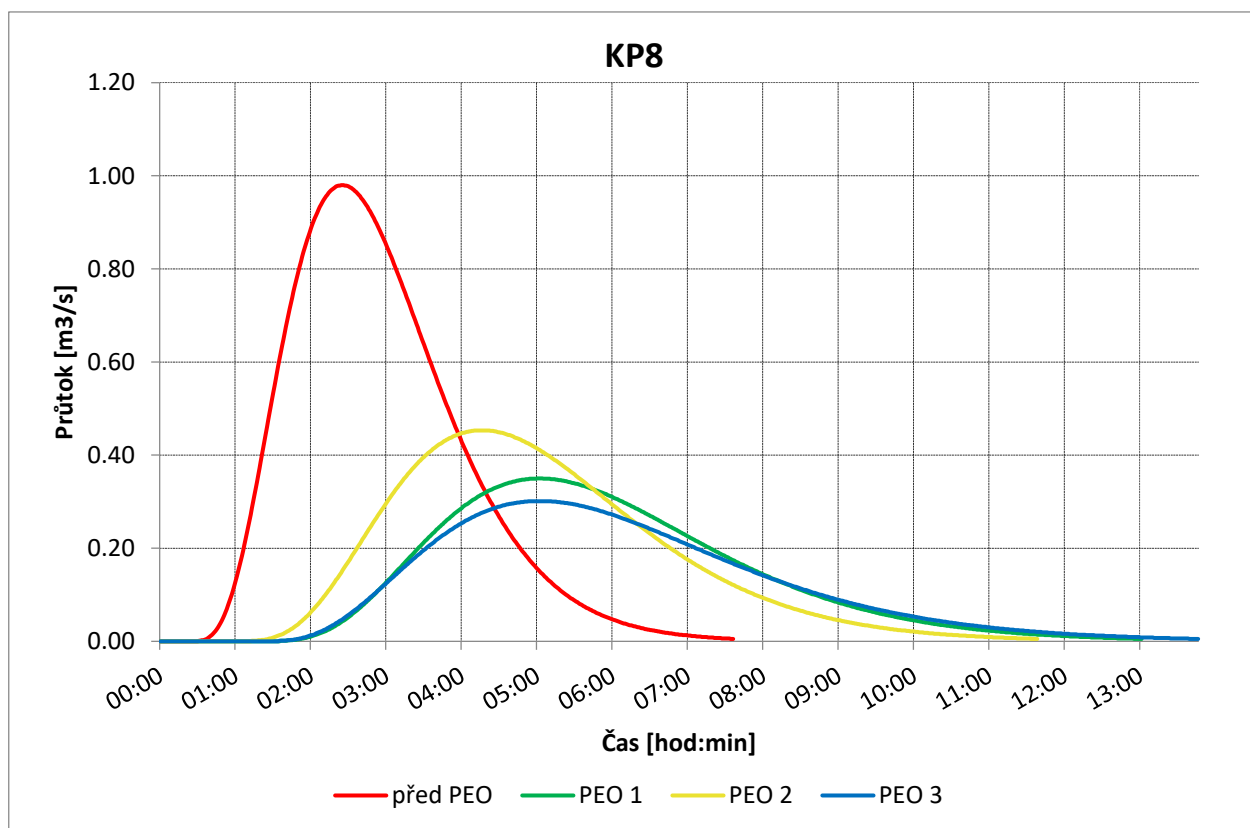
#### 4.2.8 KP8

Tabulka 36. Charakteristiky KP8

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí KP8				Jednotky
		Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
F	plocha povodí	0.2				[km <sup>2</sup> ]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	0.54				[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	2.04				[%]
I	průměrný sklon povodí	2.42				[%]
CN	průměrné číslo odtokové křivky	81.4	71.8	74.6	70.7	[...]

Tabulka 37. KP8 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO

N-leté maximální průtoky a objemy PV			Povodí KP8				Jednotky
Varianty			Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
N	doba opakování						[roky]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	0.98	0.35	0.45	0.30	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	7.17	4.77	5.44	4.43	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,ld</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>ld100</sub>	9.07	5.82	6.68	5.44	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]



Graf 14. KP8 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100

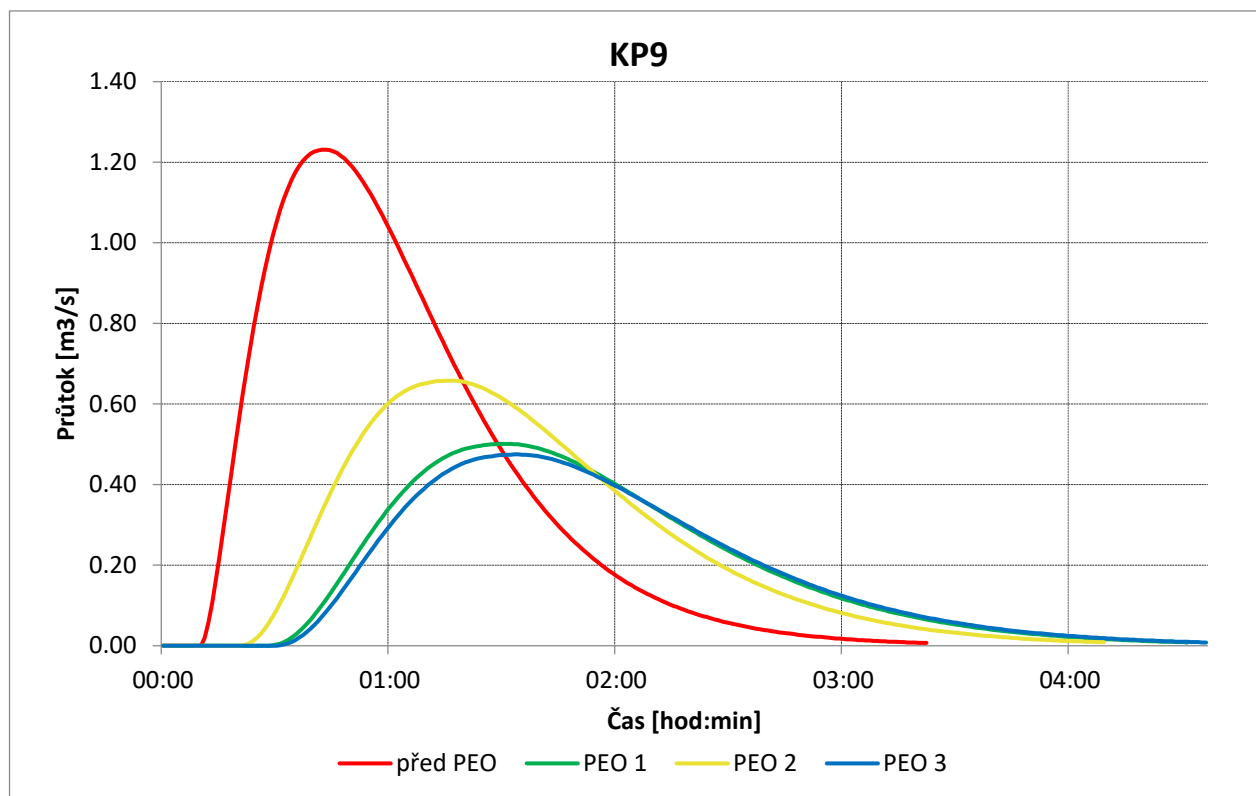
#### 4.2.9 KP9

Tabulka 38. Charakteristiky KP9

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí KP9				Jednotky
		Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
F	plocha povodí	0.11				[km <sup>2</sup> ]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	0.84				[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	2.50				[%]
I	průměrný sklon povodí	2.58				[%]
CN	průměrné číslo odtokové křivky	81.0	70.7	74.3	70.0	[...]

Tabulka 39. KP9 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO

N-leté maximální průtoky a objemy PV			Povodí KP9				Jednotky
Varianty			Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
N	doba opakování						[roky]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	1.23	0.50	0.66	0.48	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	2.58	1.91	2.19	1.85	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,ld</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>ld100</sub>	4.89	3.03	3.61	2.92	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]



Graf 15. KP9 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100

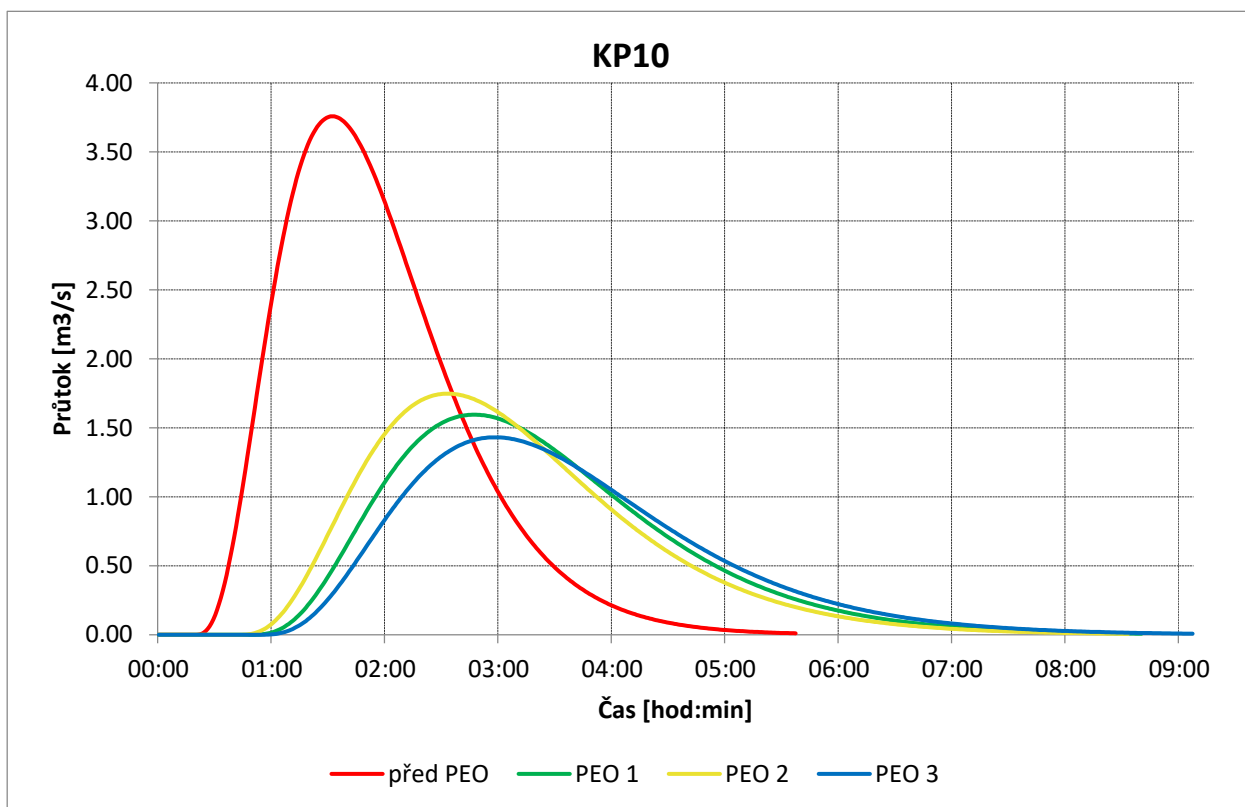
#### 4.2.10 KP10

Tabulka 40. Charakteristiky KP10

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí KP10				Jednotky
		Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
F	plocha povodí	0.59				[km <sup>2</sup> ]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	1.85				[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	1.73				[%]
I	průměrný sklon povodí	2.07				[%]
CN	průměrné číslo odtokové křivky	78.8	70.3	71.3	69.7	[...]

Tabulka 41. KP10 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO

N-leté maximální průtoky a objemy PV			Povodí KP10				Jednotky
Varianty			Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
N	doba opakování						[roky]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	3.78	1.6	1.41	1.43	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	16.5	11.9	11.6	11.3	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,1d</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>1d100</sub>	23.9	15.9	16.1	15	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]



Graf 16. KP10 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100

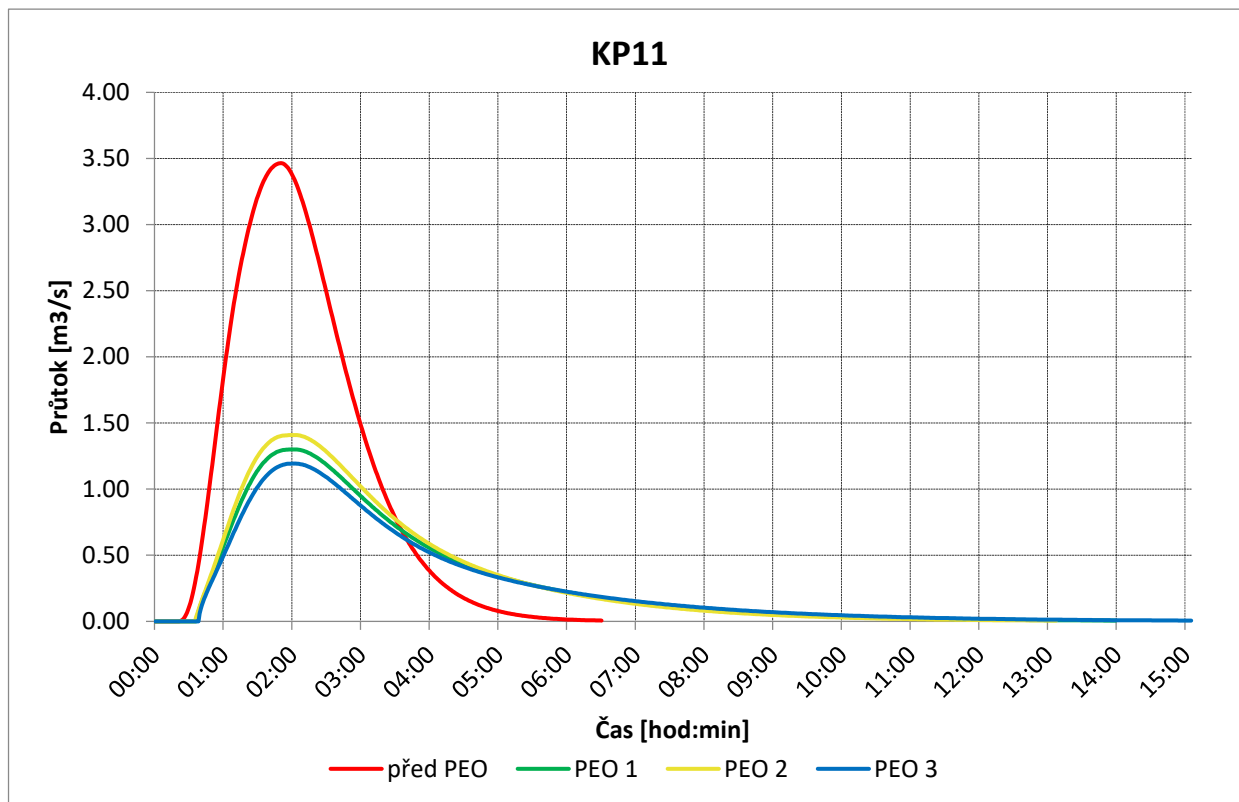
#### 4.2.11 KP11

Tabulka 42. Charakteristiky KP11

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí KP11				Jednotky
		Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
F	plocha povodí	0.59				[km <sup>2</sup> ]
L <sub>u</sub>	délka údolnice	2.02				[km]
I <sub>u</sub>	průměrný sklon údolnice	1.58				[%]
I	průměrný sklon povodí	1.88				[%]
CN	průměrné číslo odtokové křivky	80.0	69.7	70.6	68.8	[...]

Tabulka 43. KP11 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO

N-leté maximální průtoky a objemy PV			Povodí KP11				Jednotky
Varianty			Před PEO	PEO 1	PEO 2	PEO 3	
N	doba opakování						[roky]
100	Q <sub>max</sub>	maximální průtok	3.48	1.3	1.41	1.19	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
	W <sub>PVT</sub>	objem povodňové vlny PV	18.7	11	11.6	10.3	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]
	W <sub>PVT,ld</sub>	objem PV vyvolaný H <sub>ld100</sub>	25.2	15.4	16.1	14.6	[10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ]



Graf 17. KP11 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100

## 5. ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byla provedena analýza zájmového území, které se nachází v okrese Svitavy v Pardubickém kraji a jeho velkou část tvoří k.ú. Dolní Újezd u Litomyšle. Na základě analýzy bylo vymezeno 11 kritických profilů, prostřednictvím kterých může soustředěný povrchový odtok z jejich sběrných ploch vnikat do zastavěného území obce a způsobovat škody na majetku. U vymezených kritických profilů byly specifikovány jejich rozhodující parametry, na základě kterých byly navrženy varianty protierozních opatření a vyhodnocena jejich účinnost. Návrhem těchto opatření dojde k pozitivnímu snížení hodnot dlouhodobé ztráty půdy a omezení škod na zemědělské půdě. Dalším pozitivem je omezení transportu splavenin a redukce povrchového odtoku, který by mohl způsobovat ničivé škody na majetku občanů v prostoru pod kritickými profily.

Po vyhodnocení lze za nejúčinnější, jak z hlediska erozních, tak i odtokových poměrů, označit variantu PEO 3, která kombinuje technické prvky a organizační opatření v podobě protierozních osevních postupů. Navržené technické prvky (průlehy, SDSO, ochranné nádrže) umožní zachytit a neškodně odvést soustředěný povrchový odtok, ochránit zastavěné území a zároveň pomohou zvýšit retenční schopnost krajiny. Protierozní osevní postup slouží zejména k ochraně půdy a zmírnění projevů eroze.

K největšímu maximálnímu průtoku dochází v nejrozsáhlejší povodí KP1. Pro tento kritický profil byla v rámci varianty PEO3 orientačně vymezena ochranná nádrž, která bude sloužit k retenci povrchového odtoku z jeho sběrné plochy. Z hlediska odtokových poměrů je třeba přikládat zvýšenou pozornost i KP3 a KP4, kde také maximální průtok nabývá vyšších hodnot. Sběrné plochy těchto KP jsou z velké části tvořeny ornou půdou a nachází se nad zastavěným územím obce Dolní Újezd. Ve variantě PEO 3 byly v prostoru sběrných ploch uvedených KP navrženy dva záchytné průlehy, které budou neškodně odvádět povrchový odtok a chránit intravilán obce.

V současné době je účinným nástrojem pro realizaci navržených opatření, ochranu a zpřístupnění krajiny zejména proces komplexních pozemkových úprav (KoPÚ). V rámci tohoto procesu jsou řešená území komplexně analyzována, zhodnocena a navržen plán společných zařízení (PSZ), jehož součástí jsou vodohospodářská a protierozní opatření, nový systém cestní sítě a prvky sloužící k tvorbě a ochraně přírody a krajiny.

Význam této práce vidím v tom, že provedené analýzy erozních a odtokových poměrů mohou přispět k ochraně zemědělské půdy, majetku občanů a krajiny v řešeném území. Případně alespoň rozšířit povědomí o dané problematice a možnostech jejího řešení.



## Seznam zdrojů

- [1] Silniční a dálniční síť ČR. *Geoportál Ředitelství silnic a dálnic ČR* [online]. Praha [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <https://geoportal.rsd.cz/webappbuilder/apps/7/>
- [2] Základní mapa. *Mapy.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, 2021 [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni>
- [3] TOLASZ, Radim. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 978-80-244-1626-7.
- [4] Mapomat–Klimatické oblasti. *Agentura ochrany přírody a krajiny ČR* [online]. Ministerstvo životního prostředí České republiky [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <http://webgis.nature.cz/mapomat/>
- [5] NOVOTNÝ, Ivan a Jan VOPRAVIL. *Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek: bonitace zemědělského půdního fondu*. 4., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2013. ISBN 978-80-87361-21-4.
- [6] Archiv–Gajer. *IN-POČASÍ* [online]. [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: [https://www.in-pocasi.cz/archiv/gajer/?&typ=srazky&historie\\_bar\\_mesic=12&historie\\_bar\\_rok=2019#monthly\\_graph](https://www.in-pocasi.cz/archiv/gajer/?&typ=srazky&historie_bar_mesic=12&historie_bar_rok=2019#monthly_graph)
- [7] Hydrologický seznam podrobného členění povodí vodních toků ČR. *Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ)* [online]. [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: [http://voda.chmi.cz/opv/doc/hydrologicky\\_seznam\\_povodi.pdf](http://voda.chmi.cz/opv/doc/hydrologicky_seznam_povodi.pdf)
- [8] Pramen Desné. *Národní registr pramenů a studánek: eSTUDÁNKY* [online]. [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <https://www.estudanky.eu/8136-pramen-desne>
- [9] Centrální evidence vodních toků. *Portál eAGRI - resortní portál Ministerstva zemědělství* [online]. [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/cevt.html>
- [10] Hydrologické údaje. *Elektronický digitální povodňový portál (EDPP.CZ): Povodňový plán obce Dolní Újezd* [online]. [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: [https://www.edpp.cz/dou\\_hydrologicke-udaje/](https://www.edpp.cz/dou_hydrologicke-udaje/)
- [11] NĚMEČEK, Jan, Marcela MUHLHANSELOVÁ, Jaromír MACKŮ, Jiří VOKOUN, Dušan VAVŘÍČEK a Pavel NOVÁK. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. 2. uprav. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2155-7.
- [12] Půdní mapa 1 : 50 000. *Česká geologická služba* [online]. Praha [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/pudy/>
- [13] Hlavní půdní jednotky. *Portál eAGRI - resortní portál Ministerstva zemědělství* [online]. [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/legislativa/tematicke-prehledy-pravnich-predpisu-mze/103408821.html>

- [14] JANEČEK, Miloslav. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. 1. vyd. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.
- [15] DEMEK, Jaromír a Peter MACKOVČIN, ed. *Zeměpisný lexikon ČR*. Vydání 3. přepracované. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. ISBN 978-80-7509-113-0.
- [16] Geomorfologické jednotky ČR. *Geoportál ČÚZK* [online]. Praha: ČÚZK, 2020 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?basemapUrl=http%3A%2F%2Fags.cuzk.cz%2Farcgis%2Frest%2Fservices%2FGeomorfologickeJednotky%2FMapServer&source=sd>
- [17] Hillshade function. *Esri* [online]. [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/hillshade-function.htm>
- [18] Geovědní mapy 1 : 50 000. *Česká geologická služba* [online]. Praha [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- [19] *ARCDATA PRAHA* [online]. Praha [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/>
- [20] KLIMÁNEK, Martin. *Digitální modely terénu*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. ISBN 978-80-7157-982-3.
- [21] *Usle2D: Online manual* [online]. Belgium: Katholieke Universiteit Leuven, 2000 [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://ees.kuleuven.be/geography/modelling/usle2dhome/>
- [22] HRÁDEK, František a Karel KUŘÍK. *Maximální odtok z povodí : teorie svahového odtoku a hydrologický model DesQ-MAXQ*. 1. vyd. Praha: Credit, 2001. ISBN 9788021307827.
- [23] *Metodika mapování povodňového rizika.: Příloha Metodický návod pro identifikaci KB* [online]. Brno: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2009 [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: [http://www.povis.cz/mzp/KB\\_metodicky\\_navod\\_identifikace.pdf](http://www.povis.cz/mzp/KB_metodicky_navod_identifikace.pdf)
- [24] KADLEC, M. a F. TOMAN. *Závislost faktoru protierozní účinnosti vegetačního pokryvu C na klimatickém regionu*. In: Bioklima - Prostředí - Hospodářství, 2002. ISBN 80-85813-99-8.
- [25] HOLÝ, Miloš. *Eroze a životní prostředí*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1994. ISBN 80-01-01078-3.
- [26] NOVOTNÝ, Ivan, Vladimír PAPAJ a Jana PODHRÁZSKÁ. *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy*. 3. aktualizované vydání. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2017. ISBN 978-80-87361-67-2.
- [27] ANTAL, Jaroslav. *Protierozna ochrana pôdy*. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2005. ISBN 80-8069-572-5.
- [28] Rostěnice, a.s. <https://www.rostenice.eu/cz> [online]. [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.rostenice.eu/cz>

- [29] Letecká mapa. *Mapy.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, 2021 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka>
- [30] Obecné půdoochranné technologie na erozně ohrožených plochách. *Ochrana proti erozi zemědělské půdy – Webová encyklopedie* [online]. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy [cit. 2021-05-11].
- [31] KADLEC, Václav, Tomáš DOSTÁL, Karel VRÁNA et al. *Navrhování technických protierozních opatření: metodika*. 1.vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2014. ISBN 978-80-87361-29-0.
- [32] PODHRÁZSKÁ, Jana. Erozní procesy a změna klimatu. *Česká technologická platforma pro zemědělství (ČTPZ)* [online]. Praha: Česká technologická platforma pro zemědělství, 2019 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.ctpz.cz/vyzkum/erozni-procesy-a-zmena-klimatu-986>
- [33] ZÁHORA, Jaroslav, Olga URBÁNKOVÁ, Jakub ELBL et al. *Půda, místo pro život*. Vydání první. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-367-7.
- [34] ŽALUD, Zdeněk, Miroslav TRNKA a Petr HLAVINKA. *Zemědělské sucho v České republice - vývoj, dopady a adaptace*. Praha: Agrární komora České republiky, 2019. ISBN 978-80-88351-02-3.
- [35] *Studie klimatických charakteristik pro účely dimenzování prvků PSZ a posouzení dokumentací pro realizaci vodohospodářských staveb*. Praha, 2021. ČZU, VUV, Czech Globe.

## Seznam tabulek

Tabulka 1. Klasifikace klimatických oblastí dle Quitta [3].....	13
Tabulka 2. Charakteristika klimatického regionu [5].....	13
Tabulka 3. Průměrné roční teploty [6].....	13
Tabulka 4. Průměrné roční úhrny srážek [6] .....	14
Tabulka 5. Výpis dotčených povodí [7] .....	14
Tabulka 6. Průtoky na řece Desné [10] .....	15
Tabulka 7. Hydrologické údaje vodních toků a nádrží v zájmovém území [7] [9] .....	15
Tabulka 8. Popis hlavních půdních jednotek vyskytujících se v zájmovém území [13] .....	17
Tabulka 9. Přehled HSP .....	19
Tabulka 10. Charakteristiky hydrologických vlastností půd [14] .....	20
Tabulka 11. Plošné zastoupení jednotlivých kultur v zájmovém území .....	22
Tabulka 12. Zastoupení K faktoru v zájmovém území .....	30
Tabulka 13. Hodnoty C faktoru dle kultury .....	31
Tabulka 14. Hodnoty C faktoru dle klimatických regionů [23] .....	31
Tabulka 15. Navržený osevní postup .....	33
Tabulka 16. Vstupní data pro dimenzování šířky ochranného pásu.....	34
Tabulka 17. Porovnání průměrné ztráty půdy na EHP7 a EHP39.....	36
Tabulka 18. Parametry navržených průlehů .....	43
Tabulka 19. Parametry navržených SDSO .....	44
Tabulka 20. Posouzení průměrné ztráty půdy na 30 vybraných EHP .....	50
Tabulka 21. Srážkové úhrny pro návrhovou srážku – stanice Lubná.....	52
Tabulka 22. Charakteristiky KP1 .....	52
Tabulka 23. KP1 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO .....	52
Tabulka 24. Charakteristiky KP2 .....	53
Tabulka 25. KP2 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO .....	53
Tabulka 26. Charakteristiky KP3 .....	54
Tabulka 27. KP3 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO .....	54
Tabulka 28. Charakteristiky KP4 .....	55
Tabulka 29. KP4 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO .....	55
Tabulka 30. Charakteristiky KP5 .....	56
Tabulka 31. KP5 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO .....	56
Tabulka 32. Charakteristiky KP6 .....	57
Tabulka 33. KP6 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO .....	57

Tabulka 34. Charakteristiky KP7 .....	58
Tabulka 35. KP7 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO .....	58
Tabulka 36. Charakteristiky KP8 .....	59
Tabulka 37. KP8 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO .....	59
Tabulka 38. Charakteristiky KP9 .....	60
Tabulka 39. KP9 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO .....	60
Tabulka 40. Charakteristiky KP10 .....	61
Tabulka 41. KP10 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO .....	61
Tabulka 42. Charakteristiky KP11 .....	62
Tabulka 43. KP11 – Porovnání průtoků a objemy povodňových vln před a po PEO .....	62

## Seznam obrázků

Obrázek 1. Mapa katastrálních území v zájmové lokalitě.....	11
Obrázek 2. Základní mapa ČR s vyznačením zájmového území [2].....	12
Obrázek 3. Klimatické oblasti v zájmovém území [4] .....	12
Obrázek 4. Hydrologické poměry v zájmovém území .....	14
Obrázek 5. Vodní tok Desná v intravilánu obce Dolní Újezd (zdroj: vlastní) .....	15
Obrázek 6. Mapa půdních typů v zájmovém území [12] .....	16
Obrázek 7. Mapa HPJ.....	17
Obrázek 8. Mapa HSP .....	19
Obrázek 9. Geomorfologická mapa.....	20
Obrázek 10. Mapa sklonových poměrů.....	21
Obrázek 11. Reliéf terénu.....	21
Obrázek 12. Geologická mapa zájmového území [17].....	22
Obrázek 13. Mapa plošné lokalizace druhů pozemků.....	23
Obrázek 14. Ukázka programu USLE 2D a LS Converter .....	27
Obrázek 15. Ukázka zadávání vstupních dat v programu DesQ-MAXQ.....	27
Obrázek 16. Mapa K faktoru .....	31
Obrázek 17. Mapa C faktoru .....	32
Obrázek 18. Stávající stav ztráty půdy na zájmovém území.....	32
Obrázek 19. Návrh PEO 1 .....	35
Obrázek 20. Pásové střídání [14].....	35
Obrázek 21. Aplikace pásového střídání plodin v obcích Lovčičky a Bošovice [28].....	35
Obrázek 22. Návrh pásového střídání a porovnání ztráty půdy před a po návrhu - EHP7...	36
Obrázek 23. Návrh pásového střídání a porovnání ztráty půdy před a po návrhu - EHP39.	36
Obrázek 24. Porovnání ztráty půdy před a po návrhu PEO 1.....	38
Obrázek 25. Kukuřice setá do ochranné plodiny [29] .....	39
Obrázek 26. Setí kukuřice do ochranné plodiny [29] .....	39
Obrázek 27. Návrh PEO 2 .....	40
Obrázek 28. Porovnání ztráty půdy před a po návrhu PEO 2.....	40
Obrázek 29. Návrh PEO 3 .....	45
Obrázek 30. Porovnání ztráty půdy před a po návrhu PEO 3.....	47
Obrázek 31. Porovnání ztráty půdy v stávajícím stavu a při změně klimatu .....	48
Obrázek 32. Mapa KP a jejich sběrných ploch (povodí).....	51



## Seznam grafů

Graf 1. Zastoupení HSP.....	19
Graf 2. Zastoupení kultur dle LPIS .....	23
Graf 3. Klasifikace ztráty půdy před a po návrhu PEO 1 .....	37
Graf 4. Klasifikace ztráty půdy před a po návrhu PEO 2 .....	41
Graf 5. Klasifikace ztráty půdy před a po návrhu PEO 3 .....	46
Graf 6. Klasifikace ztráty půdy v stávajícím stavu a při změně klimatu.....	49
Graf 7. KP1 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100.....	52
Graf 8. KP2 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100.....	53
Graf 9. KP3 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100.....	54
Graf 10. KP4 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100.....	55
Graf 11. KP5 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100.....	56
Graf 12. KP6 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100.....	57
Graf 13. KP7 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100.....	58
Graf 14. KP8 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100.....	59
Graf 15. KP9 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100.....	60
Graf 16. KP10 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100.....	61
Graf 17. KP11 – Hydrogram povodňové vlny před a po návrhu PEO. N=100.....	62

## Seznam použitých zkratk a symbolů

BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
CN	Curve number (Číslo odtokových křivek)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČHP	Číslo hydrologického pořadí
ČR	Česká republika
DMT	Digitální model terénu
EHP	Erozně hodnocená plocha
GIS	Geografický informační systém
HPJ	Hlavní půdní jednotka
HSP	Hydrologická skupina půd
IDVT	Identifikátor toku podle centrální evidence vodních toků
IPS	Index předchozích srážek
KB	Kritický bod
KoPÚ	Komplexní pozemkové úpravy
KP	Kritický profil
KR	Klimatický region
k.ú.	Katastrální území
LPIS	Land Parcel Identification System (Evidence využití zemědělské půdy)
MT	Mírně teplá klimatická oblast
N	Doba opakování
ON	Ochranná nádrž
PEO	Protierozní opatření
PSZ	Plán společných zařízení
SDSO	Stabilizovaná dráha soustředěného odtoku
TTP	Trvalý travní porost
USLE	Universal Soil Loss Equation (Univerzální rovnice ztráty půdy)
VN	Vodní nádrž
VP	Vsakovací průleh
VT	Vodní tok
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ZK	Změna klimatu
ZP	Záchytný průleh